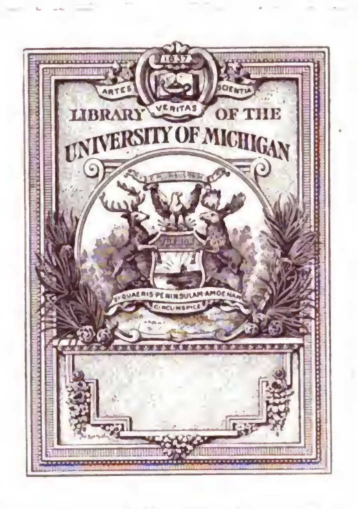
Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der ...

Deutsche Gesellschaft für Psychologie


1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE

Zeitschrift
für
Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane

herausgegeben von

Herm. Ebbinghaus und **W. A. Nagel.**

II. Abteilung.

Zeitschrift für Sinnesphysiologie.

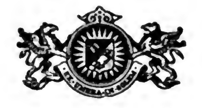
In Gemeinschaft mit

S. Exner, J. v. Kries, Th. Lipps, A. Meinong,
G. E. Müller, C. Stumpf, A. Tschermak, W. Uhthoff,
Th. Ziehen, H. Zwaardemaker

herausgegeben von

W. A. Nagel.

41. Band.



Leipzig, 1907.
Verlag von Johann Ambrosius Barth.
Roßplatz 17.

Jan Lit
31/1 41.9

Inhaltsverzeichnis.

Der wachsende Umfang der

Zeitschrift
für
Psychologie
und
Physiologie der Sinnesorgane

sowie die damit sich steigernden Schwierigkeiten einer an zwei Herausgeber verteilten Leitung lassen es uns zweckmäßig erscheinen, die Zeitschrift mit Beginn des 41. Bandes in zwei Abteilungen zu veröffentlichen, entsprechend den beiden seither in ihr vereinigten Wissensgebieten.

Die erste Abteilung wird als

„Zeitschrift für Psychologie“

in Gemeinschaft mit

S. Exner, J. v. Kries, Th. Lipps, A. Meinong, G. E. Müller, C. Pelman, A. v. Strümpell, C. Stumpf, A. Tschermak, Th. Ziehen

von **H. Ebbinghaus**, die zweite Abteilung als

„Zeitschrift für Sinnesphysiologie“

in Gemeinschaft mit

S. Exner, J. v. Kries, Th. Lipps, A. Meinong, G. E. Müller, C. Stumpf, A. Tschermak, W. Uhthoff, Th. Ziehen, H. Zwaardemaker

von **W. Nagel** herausgegeben werden. Der Literaturbericht wird ungeteilt — also auch für die sinnesphysiologische Abteilung —

mit der I. Abteilung verbunden werden. Er soll die Leser ganz in der bisherigen Weise sowohl über das gesamte Gebiet der Psychologie und der Nervenphysiologie, soweit sie für jene Bedeutung besitzt, wie auch über die wichtigsten Erscheinungen ihrer Nachbargebiete durch Berichte und Besprechungen auf dem Laufenden erhalten.

Die Zählung der Bände wird sich an den jetzt abgeschlossenen Band 40 anschließen, und die Ausgabe wird, wie bisher, in Heften im Umfang von etwa 5 Bogen erfolgen. 6 Hefte jeder Abteilung bilden einen Band, der 15 Mark kostet.

Jede Abteilung kann in Zukunft besonders bezogen werden. Die alten Abonnenten werden aber die ersten Hefte der beiden Abteilungen zur Fortsetzung unverlangt erhalten; die Verlagsbuchhandlung hofft, daß sie auch die geteilte Zeitschrift weiter beziehen werden, da sie als Ganzes unverändert den bisherigen Charakter bewahren wird.

Die Herausgeber:

Herm. Ebbinghaus.

W. A. Nagel.

Die Verlagsbuchhandlung:

Johann Ambrosius Barth.

Durch die Teilung der Zeitschrift in zwei Abteilungen hoffen wir den Wünschen derjenigen entgegenzukommen, die wohl für die sinnesphysiologischen, nicht aber für die psychologischen Abhandlungen der Zeitschrift in ihrer bisherigen Form, oder umgekehrt, Interesse hatten. In erster Linie denke ich hierbei an die Vertreter einiger praktisch-medizinischer Disziplinen, die enge Beziehungen zur Sinnesphysiologie haben und einer gewissen Bekanntschaft mit den neuen Publikationen auf diesem Gebiete nicht entraten können, wie die Ophthalmologie, die Oto- und Rhinologie, nächstdem auch die Neurologie und Psychiatrie. Auch in den Kreisen der Physiker, speziell derjenigen, die sich mit Optik und Akustik beschäftigen, dürfte sich mehr und mehr die Anschauung Bahn brechen, daß die Aufrechterhaltung naher Beziehungen zur physiologischen Optik und Akustik nützlich, um nicht zu sagen unerläßlich ist.

Damit die Zeitschrift für Sinnesphysiologie den Zwecken, die sie sich somit stellt, möglichst vollkommen gerecht werden kann, bedarf sie der tätigen Unterstützung nicht nur von seiten der Physiologen und Psychologen, sondern auch von seiten der Vertreter der erwähnten Nachbargebiete. Die Sinnesphysiologie ist heutzutage ein so ausgedehntes und von so verschiedenen Grenzgebieten aus beschrittenes Arbeitsfeld, daß es wirklich gerechtfertigt sein dürfte, ihr ein eigenes Publikationsorgan zur Verfügung zu stellen, wie es die sinnesphysiologische Abteilung der Zeitschrift sein soll. Diese wird sinnesphysiologische Abhandlungen unabhängig von jeder Richtung oder Schule aufnehmen, die sich nach Umfang und sonstigen Umständen dazu eignen. Sehr schätzenswert wäre es, wenn Arbeiten sinnesphysiologischen Inhalts, die in klinischen Instituten entstanden sind, der Zeitschrift zur Veröffentlichung übergeben würden, da die Verwertung dieses oft so wertvollen Materials an Untersuchungen durch die Sammlung in einem eigenen Journal leichter wird, als wenn es in Zeitschriften mit vorwiegend praktisch-medizinischer Tendenz verstreut ist, wie es jetzt der Fall ist.

Berlin N.W. 7,
Dorotheenstr. 35.

W. A. Nagel.

(Aus dem psychologischen Institut der Universität Göttingen.)

Über die Abhängigkeit der Farbenschwellen von der achromatischen Erregung.

Von

Dr. Géza Révész.

§ 1. Einleitung.

Die Young-Helmholtzsche Farbentheorie geht bei der Erklärung der Farbenempfindungen in erster Linie von der Betrachtung des objektiven Lichtreizes aus; jeder Farben- oder Lichtempfindung entspricht ein objektiver Reiz, der aus einer Ätherschwingung von einer bestimmten Wellenlänge oder aus einer Mehrzahl von Lichtarten verschiedener Brechbarkeit zusammengesetzt ist. Die in der Erfahrung überhaupt vorkommenden Änderungen unseres Empfindungszustandes können durch Änderungen jenes Lichtreizes verursacht werden; so zieht die Veränderung der Schwingungsamplitude einer Ätherwelle eine Veränderung der Intensität der betreffenden Farbenempfindung nach sich, die Veränderung der Wellenlänge die des Farbentons und die Mischung mit weifsem unzersetztem Licht eine Änderung der Sättigung. Durch eine Funktion von drei Variablen kann man also die gesamten Empfindungen des Gesichtssinnes darstellen. Da es aber keine Schwingungsart gibt, die direkt die Empfindung Schwarz hervorbringen könnte, so ist Schwarz keine Empfindung von der Art der übrigen Farben- und Weifsempfindungen, sondern eine Empfindung sui generis, hervorgerufen durch die Abwesenheit jeglichen Lichtes. So ist es erklärlich, dafs Helmholtz die Schwarz-Weifs-Reihe ohne weiteres Bedenken für eine dem weifsen Licht entsprechende Intensitätsreihe erklärt, da die sämtlichen Glieder dieser Reihe durch fortgesetzte Änderung

der Schwingungsamplitude des objektiven weifsen Lichts erhalten werden können.

Dieser Young-Helmholtzschen Theorie ist aber Hering (Lehre vom Lichtsinn. Akad. d. Wiss. Wien 1871, Mitteilung IV, S. 51) entgegengetreten, indem er erklärte, dafs die *S*-*W*-Reihe (Schwarz-Weifs-Reihe) entweder als eine Qualitätenreihe zu betrachten sei, oder dafs wir zwei Intensitätsreihen, nämlich eine von *S* und eine von *W* annehmen müfsten, und zwar so, dafs jedem Gliede der Reihe eine *S*-Intensität und eine *W*-Intensität zukomme.

In Anschlufs an Hering stellte dann Hillebrand (Über die spezifische Helligkeit der Farben. Akad. d. Wiss. Wien. Mathem.-naturw. Kl., Bd. 98, 1899, S. 89) die Behauptung auf, die *S*-*W*-Reihe sei eine Qualitätenreihe mit gleichbleibender Intensität.

Hiergegen hat G. E. Müller (Psychophysik d. Gesichtsempfindungen. *Zeitschr. f. Psychol.* **10,** S. 33) folgendes geltend gemacht: wenn bei der *S*-*W*-Reihe für alle Glieder die Intensität dieselbe wäre, so müfste eine chromatische Erregung von konstanter Intensität, wenn sie der Reihe nach den verschiedenen Erregungen hinzugefügt würde, die den tatsächlich vorkommenden Empfindungen der *S*-*W*-Reihe entsprechen, stets den gleichen Grad von Farbigkeit bewirken. Dies sei aber keineswegs der Fall, sondern die Farbigkeit sei am deutlichsten bei einem mittleren Grau und trete immer mehr zurück, je weiter man sich von diesem mittleren Grau (nach reinem *W* oder nach reinem *S*) entferne. Es sei demnach zu folgern, dafs die Glieder der *S*-*W*-Reihe, von einem mittleren Grau angefangen, sowohl nach *S* wie nach *W* hin an Intensität ständig zunehmen.

Schon bei Hering findet sich gelegentlich (*Pflügers Arch. f. ges. Physiol.* **41**, S. 11) die Bemerkung, dafs ein mittelhelles Grau sehr leicht farbig werde, während Weifs und Schwarz sozusagen sehr viel Farbe aufnehmen könnten, ohne deutlich farbig zu werden. Nähere Angaben darüber, in welchem Mafse die *S*-*W*-Erregung bei ihren verschiedenen Intensitätsgraden die Farbigkeit beeinflufst, liegen bei den genannten Forschern nicht vor. Ich habe deshalb diese Frage zu beantworten übernommen, indem ich die Farbenschwellen für die verschiedenen Farben erstens bei zunehmendem *W*-Reize und zweitens bei zunehmendem *S*-Reize zu ermitteln suchte. Ich wollte die gesetzmäfsige Beziehung feststellen, die zwischen der Farbenschwelle und der Intensität des gegebenen *W*- bzw. *S*-Reizes besteht.

Fechner (*Psychophysik* **1,** S. 332) hat einige Versuche ausgeführt, die zu unserer Frage in Beziehung stehen. In der Abhandlung, in der er das Webersche Gesetz erläutert (Gesellsch. d. Wiss. Leipzig. Math.-Phys. Kl., Bd. IV, S. 461) wirft er die Frage auf, ob dieses Gesetz auch in dem erweiterten Sinne gelte, dafs eine zu weifsem Lichte zugemischte Farbe bei einer Änderung der Lichtstärke des Weifs stets im gleichen Verhältnisse wie dieses erhöht oder geschwächt werden müsse, um immer eine im gleichen Grade merkbare Farbigkeit der Empfindung zu ergeben. Die nur in unvollkommener Weise angestellten Versuche vorläufiger Art liefsen Fechner diese Frage für gewisse Grenzen bejahen.

Neuerdings hat Heymans (*Zeitschr. f. Psychol.* **21,** S. 321 ff.) in seiner Abhandlung über „Psychische Hemmung" Mitteilung darüber gemacht, in welchem Mafse die Farbenschwelle sich verändert, wenn man die Stärke des Weifs, das mit der Farbe gemischt wird, variiert. Er fand bei den von ihm untersuchten Farben, dafs einer Verstärkung des Weifs ein proportionales Wachstum der Farbenschwelle entspricht.

Weitere hierher gehörige Angaben liegen in der Literatur nicht vor. Wie das Vorstehende zeigt, liegt eine nähere Untersuchung über die Abhängigkeit, welche die Farbenschwelle bei gegebenem *S*-Reize zur Intensität dieses Reizes zeigt, zurzeit überhaupt nicht vor [1], und auch in Beziehung auf die Abhängigkeit, in welcher die Farbenschwelle bei gegebenem *W*-Reize zur Stärke dieses Reizes steht, erscheinen neue Versuche, insbesondere solche, bei denen nicht Pigmentfarben, sondern Spektralfarben benutzt werden, erwünscht. Weder Fechner noch Heymans haben bei ihren Versuchen Spektralfarben benutzt.

Unter einer **Mischungsschwelle** verstehe ich das Quantum eines Reizes, das zu einem qualitativ verschiedenen Reize hinzugefügt werden mufs, damit die Qualität des zugefügten Reizes richtig erkannt werde.

In der vorliegenden Untersuchung haben wir es nach vorstehendem mit Mischungsschwellen zu tun, bei denen die gegebenen Reize solche sind, deren Empfindungen der schwarzweifsen Empfindungsreihe angehören, die Zusatzreize dagegen farbige Spektrallichter sind. Diese Mischungsschwellen werden in dieser Abhandlung kurz als **Farbenschwellen** bezeichnet. Unsere Farbenschwelle ist also derjenige Betrag eines farbigen Spektral-

[1] In Beziehung auf diesen Punkt hat sich die Young-Helmholtzsche Theorie gemäfs der Stellung, die sie den Kontrastphänomenen gegenüber einnimmt, nicht als förderlich und anregend erwiesen.

lichtes, der zu einem eine schwarzweifse Empfindung hervorrufenden Reize hinzugefügt die Farbigkeit gerade noch richtig erkennen läfst. Bestimmen wir die Farbenschwelle für den Fall, dafs auf die betreffende Netzhautstelle weder ein *W*-Reiz noch ein (etwa von weifsem Lichte induzierter) *S*-Reiz einwirkt, so ist unsere Farbenschwelle mit der gewöhnlich so bezeichneten spezifischen Farbenschwelle (v. Kries, Nagels Handbuch, Bd. III, S. 246) identisch.

§ 2. Untersuchung der Farbenschwellen bei gegebenem *W*-Reize.

Naturgemäfs zerfällt meine Untersuchung in zwei Spezialuntersuchungen: Wie verhält sich die Farbenschwelle erstens bei wachsender Intensität des gegebenen *W*-Reizes und zweitens bei zunehmender Stärke des gegebenen *S*-Reizes?

Bei der experimentellen Behandlung der ersten Frage kann man nach drei Methoden verfahren.

1. Man verändert die Intensität sowohl des Weifs als auch der Farbe, indem man weifses bzw. farbiges Licht unter verschiedenem Winkel auffallen läfst. Zur Messung der Farbenschwelle würde dann die Gröfse des Winkels dienen, unter dem die farbigen Strahlen auf die weifse Fläche auffallen.

2. Man verändert die Intensität des weifsen Lichtes und der Farbe dadurch, dafs man auf einem rotierenden Maxwellschen Kreisel die Sektoren verändert. Mafs der Farbenschwelle ist hier die Sektorengröfse.

3. Man bedient sich zur Veränderung der Intensität der Farbe des Spektralapparates und sucht die Veränderung der Intensität des Weifs durch Änderung der Sektorengröfse des Weifs auf einem rotierenden teils weifsen, teils schwarzen Kreisel zuwege zu bringen, der zugleich mittels eines in ihm angebrachten radialen Spaltes dem zu benutzenden Spektrallicht den Durchtritt verstaltet.

Die erste Methode ist unvollkommen und bietet nur Schwierigkeiten gegenüber der zweiten, viel exakteren und einfacheren Methode. Jedoch für absolute Schwellenbestimmungen erweist sich auch diese zweite Methode in verschiedener Beziehung als nachteilig. Ein Mangel besteht darin, dafs die für den Farbenkreisel verwendeten Pigmentpapiere keineswegs nur die Farbenstrahlen reflektieren, nach denen sie benannt werden. Ein zweiter Nachteil der Kreiselmethode bei exakten Messungen ist ferner

der, daſs die Papiere sich mit der Zeit in Ton und Nuance verändern. Endlich drittens ist die Bedingung einer allgemeinen Rekonstruierbarkeit der Versuche allein bei Untersuchungen mit spektralen Farben vollständig erfüllt. Ich entschied mich also für die oben an dritter Stelle angedeutete Methode.

Versuchsanordnung.[1] Der Apparat zur Bestimmung der Farbenschwelle bei gegebenem *W*-Reiz war in einem völlig dunklen Zimmer aufgestellt und bestand aus drei Hauptteilen: I. dem Spektralapparat, II. dem Rotationsapparat, III. dem Beobachtungskasten.

I. Als Spektralapparat benützte ich den bei physikalischen Beobachtungen meist angewandten von Kirchhoff und Bunsen, jedoch verwandte ich statt des Dispersionsspektrums des üblichen

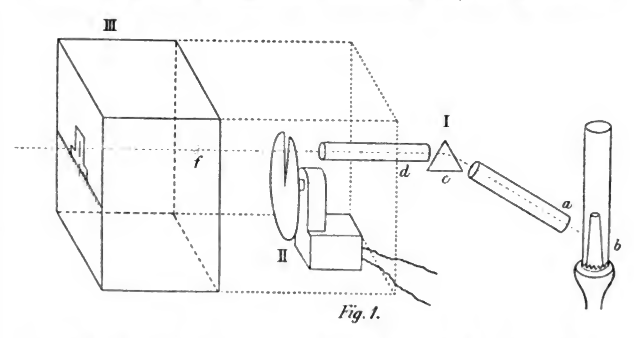


Fig. 1.

Triplexbrenners das einer Auerlampe. Über das Auerlicht war ein undurchsichtiger Schirm gestülpt, der an der Seite, die dem Spalt des Kollimatorrohres (Figur 1. *a*) zugekehrt war, eine ovale Öffnung hatte, so daſs immer nur Strahlen von derselben Stelle der Auerlampe *b* den Spalt beleuchten konnten.

Für die Einstellung der verschiedenen Spektrallinien habe ich nicht, wie man wohl meistens tut, die Stellung des Kollimatorrohres verändert, um das ganze Spektrum vor dem Okularspalt vorüberzuführen, auch habe ich nicht die Lage der Objektivlinse variiert, und die jeweilige Stellung derselben an einer

[1] Diese Versuche habe ich während eines Aufenthalts in Berlin im dortigen physiologischen Institut angestellt.

Skala abgelesen; vielmehr benützte ich bei der Aufsuchung der verschiedenen Wellenlängen eine geschwärzte Messingplatte, die mit einem ganz feinen schmalen vertikalen Okularspalt *g* versehen war und auf einem zu der Ebene der Objektivlinse parallelen mit Millimetereinteilung versehenen Metallstab *h* leicht verschiebbar war. Die Objektivlinse *d* wurde völlig festgestellt, und durch die Verschiebung des erwähnten Okularspaltes wurden die gewünschten Wellenlängen aufgesucht. Diese Einrichtung bietet aufser ihrer bequemen Handhabung noch den Vorteil, dafs sämtliche Teile des Spektrums bei der Verschiebung des Okularspaltes gleich scharf abgebildet werden. Als Objektivlinse benützte ich eine achromatische Linse.

Das Prisma *c* wurde auf das Minimum der Ablenkung eingestellt, damit die Strahlen nach dem Durchtritt durch dasselbe homozentrisch blieben. Das Kollimatorrohr war innen sorgfältig mit einer mattschwarzen Farbe überzogen.

Die Lichtquelle war in einer passenden Entfernung vor dem Spalt des Kollimatorrohres fest aufgestellt, um die Intensität des Lichtes während der Versuchsreihen konstant zu erhalten.

II. Vor der Sammellinse *d* war in einer Entfernung von 22 cm der Rotationsapparat (II) aufgestellt, der durch einen Elektromotor getrieben wurde.

Zwischen dem Rotationsapparat und dem Beobachtungskasten war noch ein Raum in der Länge von 15,4 cm freigelassen für die Aufstellung der (in der Zeichnung weggelassenen) Lichtquelle (Auerlicht)[1], durch welche die Kreiselscheibe beleuchtet wurde.

III. Der Beobachtungskasten war 20 cm lang und völlig dunkel. In der dem Beobachter zugewandten Wand desselben war eine so grofse Öffnung, als die Veränderung der Okularspalte erforderte, und in der dem Rotationsapparate zugewandten schwarzen Wand des Beobachtungskastens war eine zweite runde Öffnung *f* von 4 mm Durchmesser. Der Okularspalt, die ovale Öffnung in der Wand des Beobachtungskastens und (bei Durchtritt des farbigen Lichtes) der radiale Ausschnitt des Rotationskreisels lagen alle in der Achse der Sammellinse, so dafs man beim Sehen durch den Okularspalt einen mit dem-

[1] Dafs der Umstand, dafs das Auerlicht nicht rein weifs ist, die Schwellenbestimmung der verschiedenen Farben nicht wesentlich beeinflufst hat, wird weiterhin (§ 3) gezeigt werden.

jenigen homogenen Licht erleuchteten Fleck sah, welches der Okularspalt aus dem Dispersionsspektrum ausschnitt.[1]

Vor dem Okularspalt war eine Kinnstütze K angebracht, damit das beobachtende Auge der Versuchsperson immer an derselben Stelle bleibe.

Die Variierung der Spaltweite erfolgte im allgemeinen durch den Versuchsleiter; damit aber auch der Beobachter allein Einstellungen durchführen könne, hatte ich einen Schnurlauf zwischen der Mikrometerschraube des Spaltes des Kollimatorrohres und einer neben dem Beobachter befindlichen Rolle angebracht. Die Ablesung der Spaltweite erfolgte dennoch immer an der Einteilung der Mikrometerschraube des Kollimatorrohres.

Der Nullpunkt des Spaltes wurde öfters sorgfältig bestimmt. Der für die Berechnung zugrunde gelegte Nullpunkt ist das Mittel aus den erhaltenen Einzelwerten. (Die mittlere Variation betrug bei der Bestimmung des Nullpunktes 0,3—0,5 Teilstriche an der Skala. Mit welcher Genauigkeit der Nullpunkt festgestellt wurde, wird daraus klar, dafs ein Teilstrich einer Spaltbreite von 0,008 mm entspricht.)

Die Lage der verschiedenen Wellenlängen habe ich an der am Metallstabe h eingravierten Millimetereinteilung abgelesen. Ich habe für Na, Li, Tl und Sr, aufserdem noch für He die Lage an der festen Skala bestimmt. (Bei He wurde die Linie $\lambda = 446$ benutzt). Die Bestimmungen wurden mehrmals auf ihre Richtigkeit hin geprüft. — Nach der Feststellung der Lage der Spektrallinien von $\lambda\lambda$'s 670, 589, 535, 461 u. 446 $\mu\mu$ konnte

---

[1] Bei sinnesphysiologischen Untersuchungen würde eine solche Lochmethode (Doppelschirmanordnung) mit Ausschnitt in der vorderen Wand zuerst von Hering (*Pflügers Archiv* **39**, S. 159 und **41**, S. 91) angewandt, später bei der Messung des Helligkeitskontrastes von Hess und Pretori (*Graefes Archiv f. Ophthalm.* **40** (4), S. 1) benutzt. (Siehe Tschermak, Ergebnisse d. Physiol., II, 2, S. 737.) Grofse Vorzüge hat diese Methode für die Untersuchung der Farbenblindheit der Netzhautperipherie, und wurde sie für Helligkeitsbestimmungen peripher einwirkender Farben von Hess (*Arch. f. Ophthalm.* **35** (4), S. 1) und von v. Kries (*Zeitschr. f. Psychol.* **11**, S. 247) verwandt. Zuletzt wurde sie noch zur Bestimmung der relativen Helligkeitswerte chromatischer Lichter für das Netzhautzentrum von Schenck (*Arch. f. d. ges. Physiol.* **64**, S. 607) und später von Polimanti (*Zeitschr. f. Psychol.* **19**, S. 263) bei Flimmerphotometrie benutzt. Eine ähnliche Anordnung findet man bei Rivers (*Journ. of Physiol.* **20**, S. 137) und Haycraft (*ebenda* **21**, S. 126).

man durch Interpolation den Ort der dazwischen liegenden Wellenlängen nach der Cauchyschen Dispersionsformel

$$n\lambda = \alpha_1 + \frac{\alpha_2}{\lambda^2}$$

ausrechnen.

Die Natriumlinie wurde an jedem Versuchstage vor wie nach der Versuchsreihe bestimmt. Die gewünschten Wellenlängen wurden dann nach der oben angegebenen Methode von Na ab berechnet und eingestellt.

Steht z. B.

Na	auf	4,5	Teilstrich, so steht				
Li	„	1,9	„	, weil	Li	entspricht	Na − 2,6
Tl	„	7,0	„	, „	Tl	„	Na + 2,5
Sr	„	11,6	„	, „	Sr	„	Na + 7,1
He	„	12,2	„	, „	He	„	Na + 7,7

Durch Interpolation erhielt ich für die folgenden Farben, die ungefähr mit den entsprechenden Urfarben übereinstimmen:

Gelb	($582\ \mu\mu$)	entspricht	Na + 3
Grün	($500\ \mu\mu$)	„	Na + 44
Blau	($480\ \mu\mu$)	„	Na + 57

Um nun eine Mischung der Spektralfarben mit weifsem unzersetztem Licht zu bewerkstelligen, erschien mir die folgende Einrichtung als die einfachste:

Eine Metallscheibe mit einem radialen Ausschnitt von 3° war mit zwei 177° und 180° umfassenden Sektoren von barytweifsem Papiere so belegt, dafs der erstere Sektor fest angeklebt war, während der Sektor von 180° nur an der Kante des Ausschnittes festgeklebt war und dadurch gestattete, dafs eine schwarze Scheibe unter ihm frei verschoben werden konnte. Eine zweite Metallscheibe war genau so eingerichtet wie die eben beschriebene, nur dafs überall da, wo bei der ersten weifses Papier war, sich schwarzes befand und umgekehrt.[1] Sollte der Fall hergestellt werden, wo das Schwarz keine merkbare Menge

[1] Die schwarze Kreisscheibe wurde nach der von Hillebrand angegebenen Methode (Ber. d. Akad. d. Wiss. Wien 98, 1889, III, S. 96) auf ihre Weifslichkeit hin untersucht, und es ergab sich, dafs 360° *S* gleich 6° *W* ist.

weifsen Lichtes ausstrahlte, so wurde ein innen mit schwarzem Papier (Tuchschwarz) ausgeschlagener, mit geeigneten Öffnungen für den Durchtritt des farbigen Lichtes versehener Kasten *m* über den Rotationsapparat gestülpt. War der Kasten übergedeckt, so war die *W*-Valenz der schwarzen Scheibe gleich Null. Die beiden Scheiben zusammen ermöglichten die Herstellung der verschiedenen zu benutzenden Intensitäten des objektiven Weifs. Um eine möglichst bequeme und scharfe Einstellung der Sektorengröfse zu ermöglichen, war der Winkelmesser oberhalb der Scheiben angebracht und mit der Metallscheibe verbunden.

Die Intensitätsveränderung des spektralen Lichtes erfolgte durch Variierung der Spaltweite mittels einer Mikrometerschraube.

Versuchsverfahren. Die Versuche habe ich nun auf folgende Weise durchgeführt. Vor jeder Beobachtung wurde das Auge der Versuchsperson in der weiterhin (S. 11) anzugebenden Weise gut helladaptiert und unmittelbar darauf wurde die Farbenschwelle bestimmt. Den Versuchspersonen wurde es zur Pflicht gemacht, bei den Schwellenbestimmungen streng zentral zu fixieren und als Fixationspunkt die Mitte des Fleckes zu benutzen. Es war ein Urteil darüber abzugeben, ob der Fleck farbig oder farblos erschien, und im Falle der Farbigkeit war noch die Qualität der Farbe anzugeben. Das Urteil mufste sofort abgegeben werden, wurde aber mit dem Urteil aus irgendwelchem Grunde gezögert, so wurde zwar das verspätete Urteil protokolliert, doch nicht angerechnet. Bei allen Versuchen kam die Grenzmethode zur Anwendung. Es wurde das aufsteigende und absteigende Verfahren angewandt. Es wurde vom Nullpunkt ausgegangen und es wurde die Lichtstärke (Spaltweite) notiert, bei der zuerst die Farbigkeit erkannt wurde. Bei dem absteigenden Verfahren wurde von einem Reiz ausgegangen, bei dem die Farbe stets richtig erkannt wurde. Die Stufen wurden aufserordentlich klein genommen. In der Nähe der Schwelle betrugen sie nicht mehr als 0,2 bis 0,3 Teilstrich, dem eine Spaltbreite von ca. 0,02 mm entspricht. Jede Schwellenbestimmung wurde 10 mal ausgeführt und daraus wurde das arithmetische Mittel genommen. Zuerst wurde die Farbenschwelle für 0° Weifs, also bei vollständig lichtloser Kreiselscheibe bestimmt. 3—6 Minuten nach der Erledigung der ersten Bestimmung, während welcher

das Auge helladaptiert wurde, ging man zu der Aufsuchung der Farbenschwelle über für den Fall, dafs die schwarze Kreiselscheibe vom direkten Licht beleuchtet wurde (nach obigen gleich 6° Weifs gerechnet) und schlofs daran die Versuche mit 30°, 60°, 90° usf. Weifssektor an. Erst nachdem sämtliche gesuchte Schwellen für eine Farbe bestimmt waren, ging man zu einer anderen Farbenqualität über. Bevor zu den Versuchen mit einer anderen Farbe übergegangen wurde, wurden stets zunächst drei Probeversuchen angestellt. In der Regel wurden an jedem Versuchstage wenigstens 3, höchstens 5 Spektralfarben untersucht. Bei allen Versuchspersonen habe ich als Versuchsleiter funktioniert. Als ich selbst Versuchsperson war, wurden die Einstellungen entweder durch mich oder durch einen Gehilfen vorgenommen.

Mit welchen Fehlerquellen haben wir nun bei den beschriebenen Untersuchungen zu rechnen? Die absolute Empfindlichkeit des Sehorgans für Farbenreize hängt hauptsächlich ab 1. von der Lage der gereizten Netzhautstelle, 2. von dem Adaptationszustand der ganzen Netzhaut sowohl wie deren Einzelelemente, 3. von der Stimmung. Ich mufste also danach trachten, diese Faktoren möglichst konstant zu erhalten und zwar suchte ich dies auf folgende Weise zu ermöglichen.

1. Den Durchmesser der in der hinteren Wand des Beobachtungskastens ausgeschlagenen runden Öffnung hatte ich nicht gröfser als 4 mm genommen, und da ich aus einer Entfernung von 250 mm beobachten liefs, so war der Sehwinkel nur 0° 50′ grofs, so dafs der Durchmesser des Netzhautbildes nur 0,23 mm betrug, mithin den Durchmesser der Fovea kaum überstieg.[1]

Die Verschiedenheit der Farbenempfindlichkeit, welche

[1] Der stäbchenfreie Bezirk ist gröfser als die Fovea (Hering, *Arch. f. d. ges. Physiol.* **60**, S. 519 u. **61**, S. 106). Manche Histologen, z. B. Kölliker, wollen die ganze Macula (4°) stäbchenfrei gefunden haben. Koster (*Arch. f. Ophthalm.* **41**, Abt. 4, S. 1) fand den stäbchenfreien Bezirk 2° grofs. Die physiologischen Beobachtungen sind keineswegs mit den anatomischen Tatsachen in Widerspruch. Nach den Beobachtungen von v. Kries (*Zeitschr. f. Psychol.* **9**, S. 121) erstreckt sich das stäbchenfreie Feld von etwa 4° Ausdehnung vom Zentrum aus nach jeder Seite 2°. Bei einer Messung fand Fritsch einen ganz stäbchenfreien Bezirk von nur 0,2 mm, also weniger als 1°. (Nagels Handbuch der Physiol., III, S. 188.)

sich auf den zentralen und der mehr peripheren Netzhautstellen zeigt, kommt also hier nicht in Betracht.

2. Sehr schwierig war es, der Forderung nachzukommen, den Adaptationszustand des Sehorgans während der Versuchsreihe konstant zu erhalten. Die Versuche sollten mit helladaptiertem Auge angestellt werden. Um dies zu erreichen, wurde in dem Zimmer ein elektrisches Bogenlicht angebracht. Die Strahlen dieser Lampe fielen nicht direkt in das Auge des Beobachters, sondern auf eine objektiv gelblich-weifse Fläche [1], die vom Beobachter bequem gesehen werden konnte. Die Fläche war immer gleich stark beleuchtet. Nach jeder Beobachtung mufste die Versuchsperson die Fläche mit wanderndem Blick eine bestimmte Zeit lang ansehen, um immer annähernd denselben Adaptationszustand herzustellen und gleichzeitig die erfolgte chromatische Umstimmung der Netzhaut unschädlich zu machen. So suchte ich den Adaptationszustand des Netzhautzentrums möglichst konstant zu erhalten. Man darf nicht, wie man das früher getan hat, den Adaptationszustand der Fovea aufser acht lassen, da die Zapfen auch adaptationsfähige Organe sind, die nach Herabsetzung der Beleuchtungsintensität mit gesteigerter Empfindlichkeit reagieren. Schon Butz (Unters. über die physiologischen Funktionen der Peripherie der Netzhaut, Diss. Dorpat 1883) hat gezeigt, dafs die Empfindlichkeit der Netzhaut bei der Dunkeladaptation für alle Farben zunimmt und zwar zuerst sehr rasch, dann aber nur langsam. Hiergegen hatte sich Charpentier (*Arch. d'ophtalm.*, **6**, 1887., Expériences sur la marche de l'adaptation rétienne) geäufsert, da er während der Dunkeladaptation keine Empfindlichkeitszunahme für farbiges Licht beobachtete („tandis que la sensation chromatique éxige toujours la même quantité de lumière"). Neuere Untersuchungen aber haben im Gegensatz zu Charpentiers Beobachtungen eine Herabsetzung der Farbenschwelle für das dunkeladaptierte Auge mit voller Sicherheit konstatiert. So konnte neuerdings A. Mayer (Über die Abhängigkeit der Farbenschwellen von der Adaptation. Diss. Freiburg i. Br. 1903) bei der Dunkeladaptation auch auf der Fovea eine entschiedene Zunahme der Empfindlichkeit für alle Farben konstatieren. In den ersten 3 Minuten steigt die Empfindlichkeit rasch an, um weiterhin langsam bis zu einem

[1] Durch die farbige Tingierung der weifsen Fläche wurden die blauen und violetten Strahlen des Bogenlichts in angemessenem Grade absorbiert.

Minimum der Schwelle herabzusinken. Die Empfindlichkeitskurve für Rot ist die steilste, für Gelb die flachste (S. 55). Nahezu gleiche Resultate haben die Versuche von NAGEL und SCHAEFER (Über das Verhalten der Netzhautzapfen bei Dunkeladaptation des Auges, *Zeitschr. f. Psychol.*, **34**, S. 271) ergeben; sie fanden auch eine Zunahme der Empfindlichkeit für alle Farbenqualitäten während der fortschreitenden Dunkeladaptation. So ist nunmehr mit Sicherheit ermittelt, daſs die Fovea für chromatisches Licht adaptionsfähig ist wie die exzentrischen Netzhautteile; nur läſst sich der Zapfenapparat, wenn man die foveale Empfindlichkeit mit der des Zapfenapparates identifizieren will, quantitativ in geringerem Maſse adaptieren und die zeitliche Dauer der Empfindlichkeitszunahme ist auch viel kürzer als bei dem Stäbchenapparat. Da bei meinen Untersuchungen das Auge vor jeder Bestimmung gut helladaptiert war und die einzelne Beobachtung nicht länger als 4—8 Sekunden dauerte, war eine beträchtliche Adaptation der Fovea nicht möglich. Die Dauer der Dunkeladaptation, deren herabsetzender Einfluſs auf die Farbenschwelle festgestellt wurde, betrug im Minimum fünf Minuten.

Es fragt sich nun noch, inwieweit die momentane Adaptation des Stäbchenapparates, welche, wie HERINGS Versuche über das PURKINJEsche Phänomen gezeigt haben, bei Versuchen mit gröſseren Feldern eine Rolle spielt, bei meinen Versuchen von Einfluſs war. Da bei denselben nur das Netzhautzentrum im Spiele war, so dürfte der Einfluſs jener Momentan-Adaptation, wenn er überhaupt vorhanden war, nur ganz unwesentlich gewesen sein. Ich erinnere daran, daſs die Frage noch strittig ist, ob das PURKINJEsche Phänomen für das Netzhautzentrum besteht. Während TSCHERMAK (*Arch. f. d. ges. Physiol.*, **70**, S. 321) diese Frage bejaht, wird dieselbe von v. KRIES (Ber. d. Naturf. Ges. Freib. i/Br., IX, und *Zeitschr. f. Psychol.*, **9**, S. 103), KÖNIG (Ber. d. Akad. d. Wiss. Berlin, 1894, S. 596) und PARINAUD (Compt. Rend. 1884, Nov., S. 211) verneint. Unter diesen Umständen ist man mindestens berechtigt, den Einfluſs der Momentan-Adaptation im Netzhautzentrum als minimal anzusetzen.

3. Ein schädlicher Einfluſs der Nachwirkungen der beobachteten farblosen und gefärbten Helligkeiten wurde durch die immer erneuerte Helladaptation verhindert.

Ich gehe jetzt dazu über, die Versuchsreihen tabellarisch mitzuteilen und die erforderlichen Besprechungen daran anzu-

reihen. Als Erläuterung zu den Tabellen sei folgendes vorausgeschickt. Die erste vertikale Kolumne gibt den jeweils untersuchten Ort des homogenen Lichtes in Skalenteilen des Okularstabes an; anbei ist die Wellenlänge des betreffenden Lichtes vermerkt. Die übrigen vertikalen Kolumnen geben die Spaltweiten an (Mittel aus zehn Beobachtungen), bei welchen soeben die Farbigkeit wahrgenommen wurde, also mit einem Worte die spezifische Farbenschwellen. In der obersten Kolumne ist die Gröfse der benutzten Sektoren des Weifs in Graden angegeben. Der Schwellenwert, dem 0° Weifs entspricht, wurde bestimmt, als die schwarze Scheibe durch die Überstülpung des Dunkelkastens völlig verdunkelt war, so dafs sie als absolut schwarz betrachtet werden konnte. Mit 6° Weifs bezeichne ich entsprechend der früher mitgeteilten Weifsvalenzbestimmung des schwarzen Papieres[1] die schwarze Scheibe ohne Dunkelkasten und bei der früher (S. 6) angegebenen Beleuchtung.

(Siehe Tab. I—VI auf S. 14 u. 15.)

Diskussion der Tabellen. Um das Verhalten der Schwellenwerte bei wachsendem Weifsreize besser verfolgen zu können, habe ich die Werte auf einem rechtwinkligen Koordinatensystem aufgetragen, bei welchem als Abszissenwerte die Gröfsen der jeweiligen Weifssektoren einschliefslich der *W*-Valenz der gleichzeitig vorhandenen schwarzen Sektoren (60° Schwarz gleich 1° Weifs gerechnet), als Ordinaten die Schwellenwerte (Spaltweiten) für die einzelnen Farben aufgetragen sind.

Wenn man nun die Kurven der einzelnen Versuchspersonen betrachtet, so sieht man zunächst, dafs die Farbenschwellen der verschiedenen Farben alle die gleiche Tendenz zeigen, geradlinig zu verlaufen. Eine Abweichung von der geraden Linie zeigen alle Farben bei 0° Weifs bis 6° Weifs. Dies erklärt sich dadurch, dafs die Beobachtung bei 0° Weifs unter viel ungünstigeren Bedingungen stattfand, als die bei 6° Weifs. Da nämlich die Kreiselscheibe bei 0° Weifs vollständig verdunkelt war, konnte die Versuchsperson der Vorschrift, das kleine farbige Feld scharf zu fixieren, nicht genügend Folge leisten. Sie konnte einigermafsen nur dann fixieren, wenn das Loch der hinteren Wand *f* des Beobachtungskastens etwas durch das farbige Licht erleuchtet

[1] Da nur 357° Schwarz in Betracht kommen, so ist der Weifswert der schwarzen Scheibe genau genommen 5° 95'.

Tabelle I.
Beobachter: Révész.

Spektraler Ort und Wellenlänge des homogenen Lichts	Gröfse des Weifssektors in Graden						
	0	6	35,5	94,5	183	271,5	360
Na — 20 (648,5 μμ)	10	9	10,5	13	19,5	21	22
Na + 3 (582 μμ)	16	15	16,5	17	20	25	30
Na + 44 (500 μμ)	13,2	12	20	25,5	35	45	55
Na + 51 (489 μμ)	18	17,5	22,5	39	61	70	94
Na + 57 (480 μμ)	23	21	29,5	70	100	139	200

Tabelle II.
Beobachter: Dr. Piper.

Spektraler Ort und Wellenlänge des homogenen Lichts	Gröfse des Weifssektors in Graden						
	0	6	35,5	94,5	183	271,5	360
Na — 8 (613 μμ)	—	5,7	9,6	10,0	11,5	14	16,0
Na + 3 (582 μμ)	17	15	16,5	18	24	30,5	39
Na + 20 (545 μμ)	8,2	8,3	9,7	10,5	12,3	14	15,2
Na + 44 (500 μμ)	15,5	15,5	22,5	30,2	38	60	75,5
Na + 51 (489 μμ)	16,5	17	24,5	41	58	72	100
Na + 57 (480 μμ)	22	18	35	60	88,5	—	—

Tabelle III.
Beobachter: Dr. Elischer.

Spektraler Ort und Wellenlänge des homogenen Lichts	Gröfse des Weifssektors in Graden							
	0	6	35,5	65	94,5	183	271,5	360
Na — 20 (648 μμ)	8,6	5,8	7,9	9,7	12,3	14,1	15,1	16,5
Na — 8 (613 μμ)	5,7	5,6	6,5	8,2	8,5	10,3	13	13,6
Na + 6 (574,5 μμ)	10,5	8,3	9,0	11,4	14	16	—	23,7
Na + 10 (565,2 μμ)	7,9	6,8	9,0?	9,8	12,9	14,5	16,5	17,5
Na + 3 (582 μμ)	13,5	12,0	12,5	13,2	15,4	17,5	20,0	22,5
Na + 20 (545 μμ)	6,9	5,8	8,3	8,6	8,7	11,1	13,7?	13,8
Na + 35 (517 μμ)	7,5	6,2	8,5	9,0	9,6	12,7	—	15,6
Na + 44 (500 μμ)	11,6	10,9	12,8	18,3	23,3	33,1	43,5	54
Na + 57 (480 μμ)	20,0	17,5	22,5	38	63	102	—	—

Tabelle IV.
Beobachter: Dr. SIMON.

Spektraler Ort und Wellenlänge des homogenen Lichts	Größe des Weißsektors in Graden							
	0	6	35,5	65	94,5	183	271,5	360
Na — 20 (648,5 μμ)	8,5	7,5	9,8	12	14,3	18,6	20	22
Na — 8 (613 μμ)	6,5	6,2	7,5	9	9,5	11,4	13	15
Na + 3 (582 μμ)	12,5	11	12	16	18,2	23,8	27,5	31
Na + 44 (500 μμ)	10,8	10	18	26	31	40	52	62
Na + 51 (489 μμ)	16,2	15,0	22,5	34	44,5	60	85	107,5
Na + 57 (480 μμ)	20,5	16,3	36	51,5	65	98	135	—

Tabelle V.
Beobachter: RÉVÉSZ.

Spektraler Ort und Wellenlänge des homogenen Lichts	Größe des Weißsektors in Graden						
	0	6	35,5	94,5	183	271,5	360
Na — 20 (648,5 μμ)	8,5	7,5	12,3	15,5	20	22	24
Na + 3 (582 μμ)	16	14	16	18	22	—	80?
Na + 20 (545 μμ)	7	6,5	9	10,5	15	17	18,5
Na + 44 (500 μμ)	12	12,5	20,5	32,3	44,5	77,5	110
Na + 57 (480 μμ)	18	15	27	33	60	—	200

Tabelle VI.
Beobachter: BURNTON.

Spektraler Ort und Wellenlänge des homogenen Lichts	Größe des Weißsektors in Graden							
	0	6	35,5	65	94,5	183	271,5	360
Na — 20 (648,5 μμ)	8,5	6,0	7,5	9,5	12,5	14,5	15,0	16,5
Na — 8 (613 μμ)	5,5	5,5	4,5?	8,0	8,5	10,5	12,5	14
Na + 3 (582 μμ)	13,5	12,0	12,5	13,0	15,0	17,5	20,0	22,5
Na + 44 (500 μμ)	11,5	10,5	13,0	19,5	24	28	36	45
Na + 57 (480 μμ)	20	17,5	22,5	31	38	62,5	102	—

wurde, verlor aber den Fixationspunkt bei geringer Intensität des spektralen Lichtes sehr leicht wieder. Es mufste also das Loch durch eine gehörige Intensität des Spektrallichtes erleuchtet werden, um die Fixation festhalten zu können. Es ist nichts natürlicher, als dafs unter diesen Umständen die Farbenschwellen höhere Werte ergaben, als bei 6° Weifs, wo das Loch sich hinreichend von der hinteren Wand an Helligkeit unterschied und die Fixation streng durchführbar war. Als ich später einen künstlichen Fixationspunkt einführte (die Beschreibung der Anordnung folgt später S. 25), dann zeigte sich eine stetige Zunahme der Farbenschwellen auch für die Werte von 0°—6° Weifs.

Sehen wir nun zu, wie sich von demjenigen Ordinatenwerte aus, der zu 6° Weifs zugehört, die Kurven der verschiedenen Versuchspersonen verhalten. Beim Rot und vor allem beim Orange sind die Kurven fast gerade Linien. Beim Rot freilich nehmen die einzelnen Kurven fast alle einen sehr flachen, nach unten ein wenig konkaven Verlauf an, doch sind die Abweichungen von der geraden Linie so gering, dafs man ohne grofsen Fehler von geraden Linien sprechen kann. Beim Orange stimmen die Kurven sogar sehr genau mit geraden Linien überein. Beim Gelb zeigen 3 Kurven mit hoher Annäherung einen geradlinigen Verlauf, die beiden anderen aber sind gekrümmt und zwar ist die eine Kurve nach unten, die andere nach oben konkav, aber so, dafs beide Kurven sich zweimal schneiden, das eine Mal bei einem Abszissenwerte von 6° Weifs, das zweite Mal bei einem Abszissenwerte von 319° Weifs. Verbindet man die beiden Schnittpunkte beider Kurven durch eine Gerade, so sieht man, dafs die Abweichung von dieser Geraden bei der einen Kurve nach der einen Seite fast genau gleich der Abweichung der anderen Kurve nach der anderen Seite ist. Dies legt die Vermutung nahe, dafs die Abweichungen dieser beiden Kurven von der Geraden in zufälligen Umständen ihren Grund haben. Es wird demnach nicht unwahrscheinlich sein, dafs auch beim Gelb der Kurvenverlauf im wesentlichem ein geradliniger ist. Auch beim Grün sind die Kurven nicht so sehr geradlinig wie beim Rot und Orange. Die Kurven zeigen zwar im grofsen und ganzen auch wieder die Tendenz, geradlinig zu verlaufen, jedoch weist eine Kurve eine gröfsere Abweichung von der Geraden auf. Dafs die Kurven hier nicht mehr so schön verlaufen, dürfte seinen Grund darin haben, dafs die zufälligen Fehlereinflüsse hier stärker

waren, was sich auch darin verrät, dafs der mittlere Fehler beim Grün gröfser ist als bei den bisher besprochenen Farben.

Die Kurven des Blau endlich zeigen einen ziemlich eigentümlichen Verlauf, indem sie im allgemeinen geradlinig, aber sehr steil emporsteigen. Dieses eigentümliche Verhalten wird erklärlich, wenn man bedenkt, dafs das Spektrallicht Blau an und für sich wenig gesättigt ist, und dafs die Weifslichkeit des Blau bei vergröfserter Spaltweite ziemlich schnell zunimmt. Damit hängt es auch zusammen, dafs die Beobachtungen beim Blau bei gröfseren *W*-Reize nicht so einhellige Resultate ergeben haben wie bei den anderen Farben. Trotz alledem lassen die Kurven im allgemeinen einen annähernd geradlinigen Verlauf wohl erkennen. Alles im ganzen betrachtet, ist man also genügend berechtigt, zu sagen, dafs **der Wert der Farbenschwelle eine lineare Funktion des gegebenen *W*-Reizes ist.**

Aufser den oben angeführten Versuchspersonen, die alle zu den farbentüchtigen gehörten, habe ich noch mit einem anomalen Tetrachromaten (nach der Young-Helmholtzschen Theorie anomaler Trichromat) von dem Typus mit Verkürzung des roten Spektralendes Schwellenbestimmungen durchgeführt (Tabelle VII).

Tabelle VII.

Beobachter: Dr. Levy und Révész.

Spektraler Ort und Wellenlänge des homogenen Lichts	Gröfse des Weifssektors in Graden									
	Levy	Révész	Levy	Révész	Levy	Révész	Levy	Révész	Levy	Révész
	0		6		95,5		183		360	
Na — 20 648,5 μμ	60	9	55	7,8	100	11	190	14	260	17
Na — 8 613 μμ	24	6,7	32	6,5	53	9	75	11	100	14
Na — 4 599,5 μμ	13	5,2	17	5,0	25	6,5	45	9,0	90	12
Na + 3 582 μμ	17	14,5	13	12	29	20	45	30	75	60
Na + 10 565,2 μμ	14	15	17	16	22	20	28	25	42	38
Na + 35 517 μμ	13	12,5	22	15,2	33	25	55	45	75	65
Na + 57 480 μμ	20	20	17	17	65	63	90	100	140	160

Die Versuchsanordnung gestaltete sich einfach so, dafs in Parallelversuchen sowohl der Anomale (Herr Dr. M. LEVY), wie der Normale Schwellenwerte bestimmte. Die Vergleichung mit dem Normalen fand unter objektiv gleichen Bedingungen statt. Es wurde festgestellt, dafs der anom. Tetrachromat in der Erkennung des Spektralrot von $\lambda = 648{,}5\ \mu\mu$, des Rotgelb von $\lambda = 613\ \mu\mu$ und auch noch, wenn auch weniger, des Gelbrot von der Wellenlänge 599,5 $\mu\mu$ eine seinem Systeme charakteristische Unterwertigkeit dem Normalen gegenüber besitzt. Höchstwahrscheinlich besteht auch noch für die Wellenlänge von 582 $\mu\mu$ ein etwas anomales Verhalten. Die Farbenschwellen waren bei allen Werten des gegebenen Weifs, auch 0° W., für Rot und für Orange viel höher als für alle anderen chromatischen Lichter. Die mindere Valenz des roten und rotgelben Lichtes hat Dr. LEVY schon selbst früher mit Pigmentpapier festgestellt. (LEVY: Über einen zweiten Typus des anomalen trichromatischen Farbensystems. Inaug.-Diss. Freib. i. Br. 1903.) Also auch in diesem Falle zeigt sich, dafs alle Farbenschwellen eine lineare Funktion des gegebenen *W*-Reizes ist.

Ich möchte nicht unerwähnt lassen, dafs ich auch einige Versuche angestellt habe, bei denen das farbig erscheinende Feld die foveale Gröfse weit überstieg. Das Loch *f* in der hinteren Wand des Beobachtungskastens besafs eine Gröfse von 12 mm Durchmesser und ihm entsprach ein Netzhautbild von 0,706 mm bzw. ein Sehwinkel von etwa 2° 30′. Die Beobachtung ist bei solcher Anordnung leicht, aber auch ziemlich unexakt. Wenn man die Mitte des Fleckes fixiert, so erscheint dieser nach der Peripherie zu weniger farbig. Es bildet sich ein leicht zu beobachtender äufserer Ring von besonderem Farbenton, oder aber, je nach der Intensität und Qualität der Spektralfarbe, nur ein mittlerer Kreis in einer hellen und farblosen Umgebung. Die bei dieser Versuchsanordnung erhaltenen Resultate wichen sonst nicht von den oben beschriebenen ab.

§ 3. Untersuchung der Farbenschwellen bei *S*-Induktion.

Ich gehe nun zur Untersuchung der zweiten Spezialfrage über, nämlich der Frage, wie sich die Farbenschwelle bei wachsender *S*-Induktion verhält.

Nun gibt es aber keine Strahlen, die direkt eine Steigerung des *S*-Prozesses hervorrufen. Wir müssen also die *S*-Erregung auf anderweitem Wege erhöhen. Hierbei kann man im allgemeinen auf dreifache Weise verfahren:

1. Benutzung des simultanen Helligkeitskontrastes. Wie bekannt, tritt dann, wenn ein objektiver *W*-Reiz auf eine Netzhautstelle einwirkt, in den benachbarten Stellen vermöge der Wechselwirkung der Netzhautelemente ein sekundärer antagonistischer Netzhautprozefs ein, welcher in der Sehsubstanz die *S*-Erregung erhöht.

2. Man erzeugt sich das negative Nachbild eines *W*-Reizes.

3. Man erhöht die *S*-Erregung durch Reizung des Auges mittels des galvanischen Stromes absteigender Richtung.

Da die beiden letzten Methoden bei einer exakten Untersuchung nicht zu brauchen sind, habe ich bei meinen Untersuchungen die Hervorbringung des *S*-Reizes durch Kontrastwirkung erzielt. Durch simultanen Helligkeitskontrast kann die *S*-Erregung kontinuierlich verstärkt werden. Fixiert man die kleine mit spektralem Licht erleuchtete Öffnung *f* der hinteren Wand des Beobachtungskastens (s. S. 6) und induziert man Schwarz, indem man die Umgebung der Öffnung beleuchtet, so erscheint die Öffnung je nach der Lichtstärke der kontrasterregenden Fläche dunkler und im geeigneten Falle sogar tiefschwarz.

Versuchsanordnung. Bei der Bestimmung der Farbenschwellen bei *S*-Induktion war die Versuchsanordnung im grofsen und ganzen dieselbe wie bei den Untersuchungen mit gegebenem *W*-Reize. Doch waren folgende Nebeneinrichtungen und Änderungen getroffen:

Anstelle der schwarzen Wand des Beobachtungskastens, in deren kleiner Öffnung das gefärbte Feld erschien, war eine weifse Kartonfläche mit einer kreisförmigen Öffnung von 4 mm Durchmesser angebracht. Die Beleuchtung der weifsen Kartonfläche, die als kontrasterregendes Feld diente, wurde in folgender Weise zuwege gebracht. Aufserhalb des Beobachtungskastens war vor der einen Seitenwand desselben und zwar der rechts von dem Beobachter befindlichen ein Auerlicht in einer Entfernung von 20 cm aufgestellt. In dieser Seitenwand befand

sich eine kreisrunde Öffnung, die mit Seidenpapier überklebt war; das durch dieses Seidenpapier diffus gemachte Licht des Auerbrenners traf auf seinem weiteren Wege ein weifses Kartonblatt, das im Inneren des Beobachtungskastens so angebracht war, dafs die auffallenden Strahlen nach der kontrasterregenden weifsen Kartonfläche reflektiert wurden, die dann gleichmäfsig hell erschien. Um die Helligkeit der kontrasterweckenden Fläche oder mit anderen Worten die Gröfse der *S*-Induktion beliebig variieren zu können, war es durch ein unmittelbar vor der kreisrunden Öffnung befindliches Diaphragma ermöglicht, mehr oder weniger Licht durch das Seidenpapier fallen zu lassen. Der Durchmesser des Diaphragma konnte von 1—13 cm variiert werden. Da nun einerseits die Lichtstärke der reflektierenden Fläche dem Quadrate des Diaphragma-Durchmessers, andererseits die Lichtstärke der kontrasterweckenden Fläche derjenigen der reflektierenden Fläche proportional zu setzen ist, so bietet die Gröfse des Blendendurchmessers ein Mafs für die Helligkeit der kontrasterweckenden Fläche[1] und damit einen Anhaltspunkt für die Gröfse der *S*-Induktion.

Die Art und Weise der Schwellenbestimmung war ganz analog der bei gegebenem *W*-Reiz. Von geringerem Kontrast ging ich zu gröfserem über, und umgekehrt. Bemerkt sei aber noch, dafs bei allen Versuchen mit *S*-Induktion die rotierende Kreiselscheibe mit schwarzem Tuchpapier überzogen und mit dem Dunkelkasten bedeckt war.

Fehlerquellen. Bei den Versuchen mit *S*-Induktion kommen nur wenig Fehlerquellen in Betracht. Als wichtigste und einzig zu beachtende Fehlerquelle könnte die schwache Färbung des kontrasterregenden Feldes beobachtet werden, welcher gemäfs wir es nicht nur mit einem simultanen Helligkeitskontraste, sondern auch mit einem farbigen Kontrast zu tun haben. Die kontrasterregende Fläche war etwas gelblich, so dafs infolge des Farbenkontrastes die Schwellenwerte für Blau wahrscheinlich etwas zu hoch, dagegen für Gelb zu gering ausgefallen sind. Auf diesen Punkt komme ich unten näher zu sprechen.

Diskussion der Tabellen. Im ganzen habe ich 25 Versuchsreihen über die Farbenschwellen bei *S*-Induktion ange-

[1] Wir drücken im nachfolgenden die Lichtstärke des kontrasterregenden Feldes durch die Quadrate des Blendendurchmessers aus.

stellt. Ich begnüge mich damit, in den folgenden Tabellen die Resultate von 6 dieser Versuchsreihen anzuführen. Bezüglich der Bedeutung der in den verschiedenen Kolumnen angeführten Werte verweise ich auf das früher S. 13 ff. Gesagte; doch ist zu beachten, dafs in der obersten horizontalen Kolumne jetzt als Mafs für die kontrastive Verdunklung die Quadrate des Diaphragmadurchmessers angegeben sind.

Tabelle VIII.
Beobachter: Dr. ELISCHER.

Spektraler Ort und Wellenlänge des homogenen Lichts	Gröfse der Quadrate des Blendendurchmessers in qcm							
	0	1^2	3^2	5^2	7^2	9^2	11^2	13^2
Na — 20 648,5 $\mu\mu$	9,7	9,4	12,5	13,5	16,3	17,5	18,8	22,0
Na — 4 599,5 $\mu\mu$	4,5	5,5	6,2	6,8	8,5	9,1	11,0	13,4
Na + 3 582 $\mu\mu$	11,0	10,1	12,7	19,2	23,0	32,5	46,8	56,0
Na + 44 500 $\mu\mu$	11,2	11,0	14,5	20,5	24,0	34,0	39,6	50,0
Na + 57 480 $\mu\mu$	14,2	16,0	25,0	33,7	53,0	—	68,0	115,0

Tabelle IX.
Beobachter: RÉVÉSZ.

Spektraler Ort und Wellenlänge des homogenen Lichts	Gröfse der Quadrate des Blendendurchmessers in qcm							
	0	1^2	3^2	5^2	7^2	9^2	11^2	13^2
Na — 20 648,5 $\mu\mu$	9,6	8,6	10,0	11,8	13,0	14,2	15,8	18,1
Na — 4 599,5 $\mu\mu$		4,5	5,3	6,0	7,2	8,1	8,5	12,4
Na + 3 582 $\mu\mu$	10,3	9,0	12,0	18,5	22,0	29,5	50,0	58,0
Na + 44 500 $\mu\mu$	10,9	11,6	14,7	19,7	25,0	32,0	44,0	55,0
Na + 57 480 $\mu\mu$	15,0	16,3	28,3	50,0	60,0	70,0	93,3	150,0
Na + 77 396 $\mu\mu$	38,0	30,0	78,4	120?	150?	?	?	?

Tabelle X. Beobachter: Dr. PIPER.

Spektraler Ort und Wellenlänge des homogenen Lichts	Größe der Quadrate des Blendendurchmessers in qcm							
	0	1^2	3^2	5^2	7^2	9^2	11^2	13^2
Na + 3 582 μμ	12,5	10,0	12,5	14,0	19,5	28,0	39,5	—
Na + 44 500 μμ	18,5	11,0	15,2	22,0	28,0	39,5	50	—
Na + 57 480 μμ	21,5	20,0	27,5	45,0	61,5	79,0	102,0	—

Tabelle XI. Beobachter: Dr. SIMON.

Spektraler Ort und Wellenlänge des homogenen Lichts	Größe der Quadrate des Blendendurchmessers in qcm							
	0	1^2	3^2	5^2	7^2	9^2	11^2	13^2
Na + 3 582 μμ	12,0	11,3	13,5	17,5	21,0	26,5	37,0	—
Na + 44 500 μμ	13,0	12,0	17,5	23,5	29,0	39,0	50,5	—
Na + 57 480 μμ	20,0	18,0	28,5	42,5	60,0	71,5	86,0	—

Tabelle XII. Beobachter: RÉVÉSZ.

Spektraler Ort und Wellenlänge des homogenen Lichts	Größe der Quadrate des Blendendurchmessers in qcm							
	0	1^2	3^2	5^2	7^2	9^2	11^2	13^2
Na — 25 666 μμ	11,6	9,5	13,8	17,0	20,0	24,0	28,0	—
Na — 8 613 μμ	4,6	4,1	5,0	6,0?	7,5	8,0	9,2	—
Na + 3 582 μμ	9,5	9,0	12,0	15,0	18,5	23,0	28,0	—
Na + 10 565,2 μμ	6,5	5,5	7,0	10,2	12,0	15,0	18,0	—
Na + 35 517 μμ	8,8	8,5	11,8	14,1	17,0	18,5	23,5	—
Na + 44 500 μμ	12,5	11,0	14,7	19,7	25,0	35,0	44,0	56,0
Na + 57 480 μμ	18,0	16,2	23,5	40,0	60,5	74,0	93,3	140,0

Tabelle XIII.
Beobachter: Brunton.

Spektraler Ort und Wellenlänge des homogenen Lichts	Gröfse der Quadrate des Blendendurchmessers in qcm								
	0	1^2	2^2	3^2	5^2	7^2	9^2	11^2	13^2
Na — 25 666 $\mu\mu$	7,5	7,0	8,0	12,5	16,2	21	24	27	35
Na — 8 613 $\mu\mu$	4,2	3,6	4,2	5,5	6,3	7,2	8,8	10	16
Na + 10 565,2 $\mu\mu$	4,5	3,9	5,4	6,5	8,7	11,5	13	16*	24
Na + 35 517 $\mu\mu$	5,0	4,4	5,6	8,2	11,5	15,1	18	22	27

Um mir das Verhalten der Farbenschwellen deutlich vor Augen führen zu können, benutzte ich wieder die graphische Darstellung. Ich trug die Quadrate des Blendendurchmessers als Abszissen, die Schwellenwerte als Ordinaten auf.

Über die hierbei erhaltenen Kurven der Schwellenwerte der verschiedenen Farben bei wachsender *S*-Induktion ist im grofsen und ganzen mutatis mutandis dasselbe zu bemerken, was früher über die entsprechenden Kurven bei wachsendem *W*-Reize gesagt worden ist. Nur ist hervorzuheben, dafs die dem Falle der *S*-Induktion entsprechenden Kurven den geradlinigen Verlauf mit noch viel gröfserer Annäherung zeigen.

Wir können also hier den Satz aufstellen, dafs der **Wert der Farbenschwelle eine lineare Funktion der gegebenen Lichtstärke des kontrasterregenden Feldes ist.**

Ordnen wir die Farben nach den Spaltweiten an, die ihren Schwellenwerten entsprechen, so erhalten wir folgende Reihenfolge: An erster Stelle kommen mit den gröfsten Spaltweiten Violett und Blau, dann Grün, Rot, hierauf Gelb, Gelbgrün und zuletzt Orange. Wie das Frühere (S. 14 ff.) zeigt, gilt diese Reihenfolge ebenso wie für die hier besprochenen Schwellenbestimmungen bei vorhandener *S*-Induktion auch für die Schwellenbestimmungen bei gegebenem *W*-Reize. Dies beweist uns, dafs die Färbung des Auerlichts die Schwellenbestimmungen nicht in wesentlichem Grade beeinflufst hat. Denn wäre dies der Fall gewesen, so hätte bei gegebenem *W*-Reize (mithin gelblicher Färbung des beobachteten kleinen Feldes) die Schwelle

für Blau wesentlich zu hoch, die Schwelle für Gelb wesentlich zu niedrig ausfallen müssen, dagegen bei gegebener *S*-Induktion (mithin bläulicher Färbung des kleinen beobachteten Feldes) die erstere Schwelle zu klein, die zweite zu grofs gefunden werden müssen; es hätten also diese beiden Farben bei gegebenem *W*-Reize nicht dieselben Stellen in der nach Spaltweiten geordneten Reihenfolge der Farben einnehmen können wie bei vorhandener *S*-Induktion.

Der Umstand, dafs die obige Reihenfolge in gleicher Weise wie für den Fall der *S*-Induktion auch für den Fall eines gegebenen *W*-Reizes gilt, ist ferner dadurch von Bedeutung, dafs er uns zeigt, dafs die Leichtigkeit, mit welcher die verschiedenen Farben von Weifs unterschieden werden, nicht in höherem Grade von der Leichtigkeit abweicht, mit welcher dieselben von Schwarz unterschieden werden. Denn würde z. B. Blau von Weifs wesentlich leichter unterschieden wie von Schwarz, hingegen Gelb viel leichter vom Schwarz unterschieden wie vom Weifs, so könnten wiederum beide Farben nicht dieselben Stellen bei gegebenem *W*-Reize, wie bei vorhandener *S*-Induktion in der nach Spaltweiten geordneten Reihenfolge einnehmen; es wäre zu vermuten, dafs das Gelb bei gegebenem *W*-Reize einen früheren Platz in der Reihe einnähme als bei vorhandener *S*-Induktion, dagegen das Blau sich umgekehrt verhalte.

Aus vorstehendem ergibt sich, dafs die obige Reihenfolge, in welcher sich die Schwellen nach den ihnen entsprechenden Spaltweiten anordnen lassen, darauf zurückzuführen ist, dafs bei gleicher Spaltweite die Farben des Dispersionsspektrums des Auerlichts nach ihren farbigen Valenzen sich in folgender Reihenfolge anordnen: mit der gröfsten chromatischen Valenz begabt ist das Orange, es folgt Gelbgrün, dann Gelb, hierauf Rot und Grün und zuletzt Blau und Violett.

§ 4. Das Minimum der Farbenschwelle.

Die Kurven bei der *S*-Induktion zeigen, wie wir sahen, dafs die Farbenschwelle bei Steigerung der Lichtstärke des kontrasterregenden Grundes regelmäfsig anwächst. Nur wird beim Nullpunkte eine Abweichung hiervon beobachtet. Man sieht nämlich, dafs die Farbenschwelle für sämtliche Farben ihr Minimum nicht, wie man von vornherein meinen könnte, bei dem Punkt

erreicht, wo das kontrasterregende Feld völlig lichtlos ist, wo also das spektrale Licht rein, ohne besondere Beimischung eines *W*- oder *S*-Reizes zum Vorschein kommt, sondern vielmehr da, wo eine schwache *S*-Induktion vorhanden ist. Dafs das Minimum der Farbenschwelle in der Tat die hier angegebene Lage besitzt, habe ich auf zwei Weisen kontrolliert.

Erstens: nach der Einstellung des Minimums der Farbenschwelle habe ich die kontrasterregende Fläche, die in diesem Falle dem Obigen gemäfs ein wenig beleuchtet war, plötzlich verdunkelt; alsdann erschien das farbige Feld farblos.

Zweitens: um eine höhere Garantie dafür zu besitzen, dafs das kleine farbige Feld wirklich fixiert werde, wendete ich folgende Methode an. Am Rande dieses kleinen Feldes war ein als Fixierzeichen dienender Lichtpunkt angebracht. Diesen Lichtpunkt erhielt ich in der Weise, dafs ich am Rande des Feldes einen kleinen Spiegel anbrachte, der das von einem schwach leuchtenden, farbigen Lichtpunkt kommende Licht in das Auge des Beobachters reflektierte. Als Lichtquelle diente ein Mignonglühlicht, das sich in einer Kartonhülse befand, in die ein Loch mit einer Nadel gestochen war, das mit rotem Papier beklebt war. Der Fixierpunkt erleichterte die Fixierung, ohne fehlerhaft zu wirken. (Diese Spiegelung eines kleinen roten Lichtpunktes wurde von v. Kries und seinen Schülern öfters mit Erfolg benutzt.) Erst wurde die Schwelle bei 0° *W* ohne, gleich darauf mit Fixierzeichen bestimmt, und diese Parallelbestimmungen wurden öfters wiederholt. Dann wurde beim kontrasterweckenden Feld von der Lichtstärke die Schwelle gleichfalls ohne und mit Fixierzeichen untersucht. Die Resultate ergaben einstimmig, dafs das Minimum der Farbenschwelle tatsächlich bei einer schwachen *S*-Induktion zu suchen ist.

Diese zunächst etwas paradox erscheinende Tatsache leuchtet sofort ein, wenn man folgendes bedenkt. Jedes farbige Licht besitzt aufser seiner chromatischen Valenz oder seinen beiden chromatischen Valenzen auch noch einen Weifswert. Die Wirkung dieses *W*-Wertes aber verringert das Gewicht der chromatischen Erregung. Die Farbigkeit wird also eher zum Vorscheine kommen, wenn durch eine geringe Beleuchtung der Umgebung ein *S*-Reiz im beobachteten kleinen Felde induziert und hierdurch der Weifswert der Farbe ganz oder teilweise kompensiert wird. Das Minimum der Farbenschwelle wird also bei einer

solchen Helligkeit des kontrasterregenden Feldes zu suchen sein, bei welcher der vorhandene *W*-Wert der spektralen Farben durch die *S*-Induktion gerade kompensiert wird.

Tabelle XIV.
Minimum der Farbenschwelle.

Spektraler Ort und Wellenlänge des homogenen Lichts	Gröfse des Weifssektors in Graden			Gröfse der Quadrate des Blendendurchmessers in qcm			
	60°	30°	10°	0	1	3²	5²
Na — 25 666 $\mu\mu$	19,4	16,7	14,6	11,6	**9,5**	13,8	17,0
Na — 8 613 $\mu\mu$	7,7	6,0	4,9	4,6	**4,1**	5,0	6,0?
Na + 3 582 $\mu\mu$	17,5	14,5	12,0	9,5	**9,0**	12	15,0
Na + 10 565,2 $\mu\mu$	9,4	7,5	6,2	6,6	**5,5**	7,0	10,2
Na + 35 517 $\mu\mu$	14,0	11,0	8,5	8,8	**8,5**	11,8	14,1
Na + 44 500 $\mu\mu$	27,0	25,5	13,0	12,5	**11,0**	14,7	19,7
Na + 57 480 $\mu\mu$	32	25	17	18	**16,0**	25,5	40,0

Wird der *W*-Wert einer gegebenen Farbe durch *S*-Induktion gerade kompensiert, so haben wir den Fall, wo die Summe der Intensitäten der in unserem Sehzentrum bestehenden *W*- und *S*-Erregung ihren Minimalwert besitzt. Wir wollen das Grau, dafs bei Gegebensein dieses Minimalwertes empfunden wird, kurz als das kritische Grau bezeichnen. Alsdann können wir nach vorstehendem den Satz aufstellen: **das Minimum der Farbenschwelle liegt beim kritischen Grau.** Das kritische Grau wird empfunden, wenn auf das Sehzentrum von der Netzhaut her weder im Sinne einer Steigerung der *W*-Erregung, noch im Sinne eine Erhöhung der *S*-Erregung eine Anregung erfolgt, z. B. ein gegebener *W*-Reiz durch eine vorhandene *S*-Induktion gerade kompensiert wird.[1]

Die vorliegende Untersuchung bezweckte nicht das Minimum der Farbenschwelle der verschiedenen homogenen Lichter mafsmethodisch zu bestimmen; hätte sie es gewollt, dann hätte ich

[1] Siehe G. E. Müller, *Zeitschr. f. Psychol.* 14, S. 60 ff.

eine viel feiner abgestufte Reihe von Lichtstärken des kontrasterregenden Feldes benutzen müssen. Doch will ich hier erwähnen, dafs ich einige Versuche angestellt habe, um das Verhalten des Minimums der Farbenschwelle bei verschiedenen Spektrallichtern zu studieren, wobei der schon oben beschriebene Apparat mit einer Irisblende ausgerüstet war, die feinere Beleuchtungsabstufungen des kontrasterregenden Feldes zuliefs. Diese Untersuchung bestätigte meine früheren Resultate. Ich fand, dafs tatsächlich das Minimum der Farbenschwelle für alle Farben nicht bei einer lichtlosen Umgebung, sondern bei einer geringen *S*-Induktion zu finden ist, ferner konstatierte ich, dafs diese *S*-Induktion für die verschiedenen Farben eine verschiedene Intensität besitzt.

Tabelle XV.
Minimum der Farbenschwelle.

Wellenlänge des homogenen Lichts	Lichtstärke des kontrasterregenden Feldes				
	0	1	4	16	81
648,5 $\mu\mu$	5,0	4,5	**4,0**	4,1	4,3
613 „	4,0	3,8	3,7	**3,5**	4,0
582 „	6,5	6,3	6,0	5,0	**4,3**
565,2 „	5,0	4,5	4,3	4,2	**3,5**
545 „	6,5	6,2	6,0	**6,0**	6,4
517 „	6,1	5,5	**5,2**	5,5	6,0
500 „	12,5	**11,5**	11,8	13,8	20,0
480 „	22,3	**20,0**	20,5	21,5	31,0
469 „	25,0	**22,0**	22,6	24,0	38,0

Diese Tabellle zeigt uns, dafs die Farben nach der zur Erreichung des Minimums der Farbenschwelle erforderlichen Stärke der *S*-Induktion sich in der folgenden Reihe anordnen: $\lambda = 469$, 480, 500, 517, 545, 648,5, 613, 565,2 und zuletzt 582 $\mu\mu$. Die Reihe stimmt mit der Reihe der Helligkeitswerte überein, welche die betreffenden Farben (im Auerspektrum) bei helladaptiertem Auge besitzen. Ich brauche nicht erst zu bemerken, dafs dieses Ergebnis die Ausführungen bestätigt, die oben zur Erklärung der Lage des Minimums der Farbenschwelle gegeben worden sind. Je heller eine Spektralfarbe ist, desto intensiver ist die *W*-Erregung, welche die betreffende chromatische Erregung begleitet,

desto intensiver mufs also die *S*-Induktion sein, um die *W*-Erregung und damit auch die *S*-Erregung auf den dem kritischen Grau entsprechenden Intensitätswert zu bringen.

Die Tatsache, dafs es ein Minimum der Farbenschwelle gibt, und dafs von diesem Minimalwerte an die Farbenschwelle sowohl nach der *W*-Seite als auch nach der *S*-Seite hin anwächst, läfst sich mit Hilfe der photochemischen Theorie folgenderweise erklären. Besitzen die *W*- und *S*-Erregung diejenigen Intensitäten, die dem kritischen Grau entsprechen, so ist die Summe der Intensitäten beider Erregungen ein Minimum. Durch Verstärkung der *S*-Induktion wird die durch das homogene Licht hervorgerufene *W*-Erregung geschwächt, aber nicht in demselben Mafse geschwächt, wie die *S*-Erregung verstärkt wird, und umgekehrt wird durch die Erhöhung des *W*-Reizes die *W*-Erregung mehr gesteigert, als gleichzeitig die *S*-Erregung abnimmt. Wirkt also auf eine neutrale Netzhautstelle ein *W*- oder *S*-Reiz, so vergröfsert sich je nach der Stärke des Reizes die Summe der Intensitäten der *S*- und *W*-Erregung in den zugehörigen Partien der zentralen Sehsubstanz, und infolgedessen nimmt das Gewicht der chromatischen Erregung ab. Mit Zunahme der *W*- bzw. *S*-Erregung verliert demnach die Empfindung an Farbigkeit, sie erscheint immer ungesättigter, weifslicher bzw. schwärzlicher. Das in Rede stehende Verhalten der Farbenschwellen läfst sich in dieser Weise aus dem Einflufs ableiten, den das Gewicht einer chromatischen Erregung auf die Deutlichkeit oder Ausgeprägtheit der betreffenden Farbigkeit der Empfindung ausübt.

Es ist hier vielleicht der Ort, zu einer gelegentlichen Auslassung von Heymans Stellung zu nehmen. Derselbe (*Zeitschr. f. Psychol.* 32, S. 38 ff.) fand, dafs die Unterschiedsschwelle bei Mischung von Komplementärfarben ein Minimum besitzt, von welchem sie nach beiden Seiten hin regelmäfsig ansteigt, hingegen bei Mischung von Schwarz und Weifs durchgehends um so gröfser ist, je mehr der weifse Sektor anwächst. Er fand das Minimum der *U. S.* für die Komplementärfarben bei einem Mischungsverhältnis der beiden Farben, welches Grau liefert. Letzteres Resultat erklärt er richtig aus der Theorie der Gegenfarben. Er bemerkt aber weiter, dafs, wenn dem Weifs und Schwarz gleichfalls antagonistische Prozesse entsprächen, auch bei einem bestimmten Gröfsenverhältnisse zwischen weifsen und schwarzen Sektor ein Minimum der Unterschiedsschwelle gefunden werden müfste. Da nur letzteres nicht der Fall sei, so sei auf ein Nichtbestehen des Antagonismus zwischen Weifs und Schwarz zu schliefsen. Hätte Heymans sich nicht damit begnügt, bis auf den Fall herunterzugehen, wo sämtlich 360° eines Farbenkreisels von Schwarz eingenommen sind,

sondern hätte er auf einem Farbenkreisel einen schwarzen Ring hergestellt, welcher auf einem hinsichtlich seiner Helligkeit variablen hellen Grund erschien, so würde er sich leicht davon haben überzeugen können, dafs die Empfindlichkeit für einen kleinen Weifszusatz zu dem schwarzen Ringe bei einer bestimmten Stärke der in dem Ringe bewirkten *S*-Induktion ihr Maximum besitzt, von dem aus sie sowohl bei einer Aufhellung des Ringes als auch bei einer Verdunkelung desselben durch Verstärkung der *S*-Induktion deutlich abnimmt. Es steht also hier ganz ähnlich wie bei den Komplementärfarben.

§ 5. Der Punkt der maximalen Farbigkeit.

Wir haben soeben gesehen, dafs das Minimum der Farbenschwelle bei einem bestimmten Zusatz von *S*-Reizung zu der Spektralfarbe zu suchen ist. Angenommen, das Minimum der Farbenschwelle liege z. B. für Rot bei der Helligkeit h des kontrasterregenden Feldes, so läfst sich fragen, ob bei einer die Farbenschwelle stark übertreffenden Intensität des objektiven roten Lichts dieses Rot auch gerade bei derjenigen Helligkeit am deutlichsten rot erscheinen werde, bei welcher die Farbenschwelle für Rot ihr Minimum hat.

Um diese Frage beantworten zu können, habe ich die Versuchsanordnung, mit der ich die Farbenschwelle bei *S*-Induktion untersuchte, beibehalten, mit der Ausnahme, dafs ich mit einer Irisblende operierte, die eine feinere Einstellung ermöglichte. Des näheren bin ich folgendermafsen verfahren. Ich stellte das Minimum der Farbenschwelle z. B. für Rot her, welches sich dem obigen gemäfs bei einer geringen Helligkeit des Kontrastfeldes fand, dann erhöhte ich die Intensität des farbigen Lichtes durch eine deutliche Vergröfserung der Spaltweite des Spektralapparates, so dafs der Fleck hell und rot erschien. Behielt ich nun diese eingestellte überschwellige Intensität des farbigen Lichts bei und steigerte ich kontinuierlich die Helligkeit des kontrasterregenden Feldes, so nahm zunächst die Farbigkeit zu, schliefslich wurde aber ein Punkt erreicht, jenseits dessen die Farbigkeit nicht mehr stieg, sondern wieder abnahm. Diesen Punkt bezeichne ich als den P u n k t d e r m a x i m a l e n F a r b i g k e i t.

So wie mit dem Rot verfuhr ich mit allen anderen Farben. Von jeder der untersuchten Farben wählte ich eine Anzahl von Intensitäten aus, für jede dieser Intensitäten suchte ich diejenige Lichtstärke des kontrasterregenden Feldes zu bestimmen, bei

welcher die von der benutzten Farbenintensität hervorgerufene Empfindung ihr Maximum der Farbigkeit erreicht. Ich fand immer die gleiche Erscheinung. Am auffallendsten tritt das Phänomen bei Blaugrün auf. Blaugrün erscheint bekanntlich bei hoher objektiver Intensität sehr ungesättigt. Führt man mit einer gegebenen hohen Intensität des Blaugrün das angegebene Verfahren durch und nähert man sich dem Maximalpunkt, so erscheint die früher sehr ungesättigte Farbe in einem wundervollen gesättigten Farbenton. Schönere und gesättigtere Farbentöne, als man bei dieser Untersuchung beobachtet, gibt es wohl überhaupt nicht.

Zur Erläuterung der nachstehenden Tabellen sei folgendes bemerkt: Die erste Vertikalkolumne gibt die Wellenlänge des betreffenden Lichts an, in den anderen Vertikalkolumnen sind die Lichtstärken des kontrasterregenden Feldes verzeichnet. Die Intensitäten der benutzten Spektrallichter sind in der obersten horizontalen Reihe aufgeführt.

Ich habe ferner für jede Intensität der Spektralfarbe neben der Lichtstärke des kontrasterregenden Feldes, bei welcher die von der betreffenden Farbenintensität erweckte Empfindung ihr Maximum der Farbigkeit erreicht (die mit *M* bezeichnete Kolumne), auch noch diejenige Lichtstärke des kontrasterregenden Feldes angegeben, für welche die betreffende Farbenintensität die Farbenschwelle darstellt (die mit *S* bezeichnete Kolumne). Wenn man nämlich für eine nicht sehr hohe Farbenintensität den Maximalpunkt der Farbigkeit gefunden hat und dann die Intensität des kontrasterweckenden Feldes noch weiter verstärkt, so kommt man schliefslich zu einem Punkte, bei dem die Farbigkeit gänzlich verschwindet, wo also die betreffende Farbenintensität den Schwellenwert (spezifische Schwelle) darstellt, der zu der gegebenen Lichtstärke des kontrasterregenden Feldes zugehört.

(Siehe Tab. XVI—XVIII auf S. 31.)

Die in diesen Tabellen verzeichneten Zahlen führen uns zu folgendem Ergebnisse.

Man denke sich in einem rechtwinkligen Koordinatensystem (vgl. Figur 2) die benutzten Lichtstärken des kontrasterregenden Feldes als Abszissenwerte und über jedem dieser Abszissenwerte als Ordinate diejenige Intensität einer bestimmten Spektralfarbe

Tabellen XVI—XVIII.

Punkte der maximalen Farbigkeit.

XVI.

	Intensität der Spektralfarbe	5		10		15		20		25		30		35		40		50	
		M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S
Burnton	648,5 μμ	—	—	18	64	30	106	49	182	58	255	—	—	—	—	—	—	—	—
	582 „	—	—	49	289	69	454	121	600	225	762	339	1000	462	< 1000	—	—	—	—
	500 „	—	—	49	144	169	350	289	552	420	< 1000	1000	< 1000	—	—	—	—	—	—
	480 „	—	—	—	—	—	—	12	20	14	—	17	45	—	—	33	70	50	121

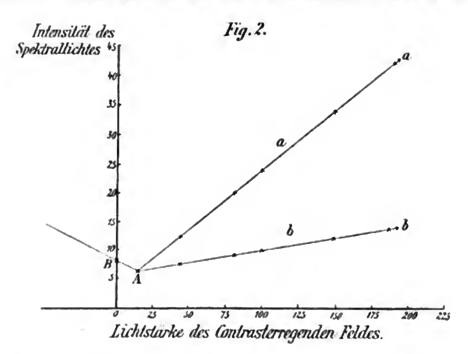
XVII.

	Intensität der Spektralfarbe	5		10		15		20		25		30		35		40		50	
		M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S
Dr. Elischer	648,5 μμ	—	—	20	61	39	108	55	169	72	240	—	—	—	—	—	—	—	—
	582 „	—	—	50	267	86	471	130	702	234	1000	380	1000	—	—	—	—	—	—
	500 „	—	—	40	137	156	400	272	520	424	< 1000	1000	< 1000	—	—	—	—	—	—
	480 „	—	—	—	—	—	—	10	17	12	27	14	36	—	—	31	67	53	110

XVIII.

	Intensität der Spektralfarbe	5		10		15		20		25		30		35		40		50	
		M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S
Révész	648,5 μμ	—	—	10	16	40	67	46	—	56	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	599,5 „	100	250	600	1000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	582 „	—	—	46	289	64	529	137	729	225	—	361	—	—	—	—	—	—	—
	545 „	—	—	169	484	350	1000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	500 „	—	—	42	156	174	420	289	650	484	1000	—	—	—	—	—	—	—	—
	480 „	—	—	—	—	—	—	11	16	13	30	16	—	—	—	—	—	—	—

z. B. Rot, aufgetragen, deren Empfindung bei der durch den Abszissenwert dargestellten Lichtstärke des kontrasterregenden Feldes das Maximum der Farbigkeit erreicht. Wir erhalten dann eine Kurve *a*, die von dem Punkt *A* ausgeht, welcher das Minimum der Farbenschwelle für die betreffende Farbe darstellt.



Von *A* aus steigt sie mit einer geraden Linie im grofsen und ganzen übereinstimmend schräg empor. Über derselben Abszissenachse kann man sich noch eine zweite Kurve *b* konstruiert denken, deren Ordinatenwerte die zu den verschiedenen Abszissenwerten (Lichtstärken des kontrasterregenden Feldes) zugehörigen Werte der betreffenden Farbenschwelle darstellen. Auch diese Kurve *b* nimmt von dem soeben charakterisierten Punkt *A*, welchem das Minimum der Farbenschwelle entspricht, ihren Ausgang und verläuft in annähernd geradliniger Richtung. Wenn wir von dem Abszissenwerte, der zu dem Punkt *A* obiger Figur gehört, zu kleineren Abszissenwerten übergehen (d. h. in negativer Richtung fortschreiten), zeigt sich ein Wiederansteigen der die Farbenschwellen repräsentierenden *b*-Kurve von *A* aus bis *B*, welches zur Abszisse *0* gehört (siehe S. 26).

Die Kurve *a* hat in *A* ihren Endpunkt, denn wenn wir von dem zu dem Punkte *A* gehörigen Abszissenwerte aus zu kleineren Abszissenwerten übergehen, d. h. die Lichtstärke des kontrasterregenden Feldes verringern, so verhindert der durch die zu geringe *S*-Induktion nicht kompensierte *W*-Wert der Farbe das Vorkommen von Punkten maximaler Farbigkeit.

Wir haben die Lage des Minimums der Farbenschwelle dadurch erklärt, dafs wir dem wenig beleuchteten kontrasterweckenden Felde die Wirkung zusprachen, einen solchen *S*-Reiz zu induzieren, der den vorhandenen *W*-Wert der Farbe gerade kompensiere. Ganz ähnlich können wir bei der Erklärung der Lage des Maximums der Farbigkeit verfahren. Stellen wir eine Farbe von mittlerer Intensität auf einem kleinen Felde her, und umgeben wir es mit einem lichtlosen Grunde, so wird der *W*-Wert des farbigen Lichts ungehindert zur Geltung kommen und dazu dienen, das Gewicht der durch dieses Licht erweckten chromatischen Erregung mehr oder weniger zu schwächen. Gehen wir dazu über, den Grund zu beleuchten, so wird in dem farbigen Felde ein *S*-Reiz induziert, welcher dem *W*-Wert der Farbe entgegenwirkt und hierdurch das Gewicht der chromatischen Erregung erhöht. Bei einer bestimmten höheren Intensität des kontrasterweckenden Feldes wird der *W*-Wert der Farbe durch den induzierten *S*-Reiz gerade kompensiert und die Farbigkeit besitzt ihr Maximum, weil die vorhandene *W*- und *S*-Erregung die dem kritischen Grau entsprechenden Intensitäten besitzen, und mithin das Gewicht der chromatischen Erregung seinen Maximalwert besitzt. Bei weiterer Aufhellung des kontrasterregenden Feldes überwiegt der induzierte *S*-Reiz über den *W*-Wert der Farbe und die Summe der *W*- und *S*-Erregung besitzt einen höheren Wert als bei dem kritischen Grau der Fall ist, so dafs das Gewicht der chromatischen Erregung wieder geringer ist. Natürlich mufs die Stärke des induzierten *S*-Reizes, die erforderlich ist, um den *W*-Wert des farbigen Lichtes zu kompensieren um so gröfser sein, je intensiver das farbige Licht ist.

Die vorstehende Darlegung gibt uns eine neue Methode zur Bestimmung der relativen *W*-Valenzen der Farben an die Hand; denn nach vorstehendem gilt der Satz: zwei Farben, z. B. eine rote und eine grüne Farbe, besitzen gleichen *W*-Wert, wenn sie bei der gleichen Intensität des kontrasterregenden Feldes das Maximum der Farbigkeit erreichen, also ihr *W*-Wert durch denselben induzierten *S*-Wert gerade kompensiert wird. Ist das Verhältnis der *W*-Valenzen zweier Farben zu bestimmen, so stelle man diejenigen Intensitäten beider Farben her, deren Empfindungen bei ein und derselben geeigneten Lichtstärke des kontrasterregenden Feldes das Maximum ihrer Farbigkeit erreichen. Bei diesen Intensitäten besitzen beide Farben die gleiche *W*-Valenz.

§ 6. Der Wendepunkt der Farbigkeit.

Es soll hier noch auf die Frage eingegangen werden, wie sich die Farbigkeit der Empfindung eines spektralen Lichts ändert, wenn die Intensität dieses Lichts erhöht wird.

Schon frühere Versuche verschiedener Forscher geben hierüber Auskunft. Das spezifische Aussehen kommt den verschiedenen Farben nur bei mittleren Intensitäten zu. Sowohl bei grofsen als auch bei geringen Lichtstärken zeigt sich der Farbenton im allgemeinen verändert und die Deutlichkeit des farbigen Eindrucks verringert. Bei Erhöhung der Lichtstärken verschieben sich die langwelligen Lichter ihrem Farbentone nach nach Gelb, die kurzwelligen nach Blau. Bei weiterer Erhöhung der Intensität nähern sich alle Farben dem Weifs und erscheinen bei sehr hohen Intensitäten geradezu weifs. Einige Lichter nehmen in der Farbenreihe eine ganz charakteristische Stellung ein; sie gehen, ohne ihren Farbenton zu ändern, direkt in Weifs über. Diese Farben bezeichnet Hering als Urfarben, und im Spektrum findet man deren drei, nämlich ein bestimmtes Gelb, ein Grün und ein Blau. Ich habe diese invariablen Lichter bei mir selbst gefunden als ungefähr bei $\lambda = 582$, 500 und 480 $\mu\mu$ liegend.

Wenn ich auf die oben aufgeworfene Frage, wie sich die Farbigkeit der homogenen Lichter bei variierter Intensität verhält, näher eingehe, so sehe ich von der Änderung des Farbentones gänzlich ab.

Stellt man die Farbenschwelle auf einem bestimmten, z. B. schwarzen Grunde her und vergröfsert die Stärke des farbigen Lichts, so beobachtet man, dafs das kleine farbige Feld nicht nur heller, sondern auch farbiger erscheint. Bei weiterer Erhöhung kommt man zu einem Punkte, über den hinaus die Farbigkeit bei weiter zunehmender Helligkeit nicht gleichfalls wächst, sondern abnimmt. Diesen Punkt bezeichne ich als den Wendepunkt der Farbigkeit. Vergröfsert man die Intensität des Spektrallichts noch mehr, so werden die Farben blasser und nähern sich mehr und mehr dem Weifs. Der so definierte Wendepunkt der Farbigkeit ist natürlich nicht genau zu bestimmen, doch ist seine ungefähre Lage ohne weitere Schwierigkeiten zu ermitteln.

Ich habe nun untersucht, wie sich der Wendepunkt der Farbigkeit verhält, wenn die Helligkeit des Grundes, auf dem

das farbige Feld erscheint, erhöht wird. Ich fand, daſs bei hellem Grunde der Wendepunkt der Farbigkeit bei einer höheren objektiven Intensität des farbigen Lichts liegt als bei schwarzem Grunde; und, wie die nachstehende Tabelle zeigt, ergab sich allgemein, daſs die Intensität eines Spektrallichts, die den Wendepunkt der Farbigkeit liefert, um so höher liegt, je stärker die *S*-Induktion ist.

Tabelle XIX.

Spaltweiten, welche dem Wendepunkte der Farbigkeit entsprechen.

Spektraler Ort und Wellenlänge des homogenen Lichts	Gröſse der Quadrate des Blendendurchmessers in qcm					
	0	1	3^2	5^2	7^2	11^2
Na — 21 652 $\mu\mu$	110?	118	120	160	170	240
Na — 6 605 $\mu\mu$	107	110	107	115	125	140
Na + 3 582 $\mu\mu$	130	150	180	185	190	280
Na + 9 567,5 $\mu\mu$	118	120	130	160	175	222
Na + 29 527 $\mu\mu$	125	120	130	140	150	210
Na + 44 500 $\mu\mu$	150	160	190	195	220	310
Na + 57 480 $\mu\mu$	190	180	215	250	290	460

Ordnet man die verschiedenen Spektralfarben nach den ihnen entsprechenden Spaltweiten an, die bei einer bestimmten *S*-Induktion die Wendepunkte der Farbigkeit liefern, so ergibt sich bei allen Werten der *S*-Induktion dieselbe Reihenfolge, nämlich die uns nach dem Früheren schon bekannte Reihenfolge: Blau, Blaugrün, Grün und Rot, dann Gelb, Gelbgrün und zuletzt Orange (480, 500, 582, 652 und 567,5, 527 und zuletzt 605 $\mu\mu$).

Der Umstand, daſs die Farbigkeit bei steigender Intensität des Spektrallichts zuerst anwächst und dann nach Erreichung eines Maximalwertes wieder absinkt, erklärt sich folgendermaſsen. Ist das einwirkende Spektrallicht nur schwach, so ist, obwohl die Weiſsvalenz des Spektrallichts auch nur klein ist, die Intensität

der chromatischen Erregung im Vergleich zu der Intensität der achromatischen Erregung nur gering, weil sich ja letztere keineswegs nur nach der Stärke der vorhandenen Weifsvalenz, sondern auch nach den Ursachen der endogenen *W*- und *S*-Erregung bestimmt. Steigert man das Spektrallicht, so nimmt zunächst das Gewicht der chromatischen Erregung zu, weil der Vorteil, den die achromatische Erregung infolge der inneren Ursachen der endogenen Erregung besitzt, um so mehr zurücktritt, je stärker das einwirkende äufsere Licht ist. Bei weiterer Steigerung des letzteren nimmt aber schliefslich das Gewicht der chromatischen Erregung wieder ab, weil infolge der nutritiven Minderwertigkeit der beiden chromatischen Spezialsinne[1] (des Gelbblausinnes und besonders des Rotgrünsinnes) die chromatische Erregung nicht in gleichem Verhältnisse anwächst wie die achromatische Erregung.

Dafs der Wendepunkt der Farbigkeit bei einer um so höheren Stärke des spektralen Lichts liegt, je stärker die vorhandene *S*-Induktion ist, je mehr also der Helligkeitskontrast der Weifsvalenz des Lichts entgegenwirkt, versteht sich nach vorstehendem ganz von gleich.

Es gereicht mir zur grofsen Freude, auch an dieser Stelle meinem verehrten und lieben Lehrer Herrn Prof. Dr. G. E. Müller für Anregung und Rat bei dieser Arbeit, sowie für das liebenswürdige Interesse, das er mir während meiner ganzen Studienzeit bewiesen hat, meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Alle den Herren, welche die Güte hatten, mir bei meinen Versuchen als Versuchsperson zu dienen, danke ich verbindlichst.

---

[1] Müller, *Zeitschr. f. Psychol.* **10**, S. 363 ff.

(Eingegangen am 29. September 1905.)

Beitrag
zur Lehre von den Funktionen der Bogengänge.

Von

Dr. ROBERT BÁRÁNY.

Assistent der k. k. Universitäts-Ohrenklinik (Vorstand: Hofrat Prof. POLITZER).

(Nach einem Vortrag, gehalten auf der Versammlung der deutschen Naturforscher und Ärzte Meran 1905.)

Die Lehre von den Funktionen der Bogengänge, wie sie nach der grundlegenden Hypothese von GOLTZ, von BREUER, MACH und CRUM-BROWN aufgestellt wurde, gilt heutzutage als feststehend. So sagt NAGEL in dem von ihm herausgegebenen Handbuch der Physiologie. „Machen wir nun mit MACH und BREUER die Annahme, daſs jede Verbiegung der Sinneshaare in den Ampullen die Empfindung einer Kopfdrehung in dem dieser Verbiegung entgegengesetzter Sinne bewirke, so ist der gröſste Teil der bei Drehung auftretenden Empfindungen aufs einfachste erklärt.“ Das Grundphänomen, auf welches sich die Lehre MACHS und BREUERS stützt, ist das folgende. Läſst man sich bei aufrechter Kopfstellung, z. B. auf einem Drehstuhl mehrere Male um die Längsachse drehen und dann plötzlich anhalten, so tritt bei offenen Augen der sogenannte Gesichtsschwindel auf, d. h. die äuſseren Gegenstände scheinen sich jetzt in entgegengesetzter Richtung weiterzudrehen.[1] Schlieſst man die Augen, so hat man die Empfindung, selbst in Drehung nach der der ursprünglichen Drehungsrichtung entgegengesetzten Richtung zu sein. Sowohl bei offenen, als bei geschlossenen Augen kann man nach dem Anhalten den von PURKINJE entdeckten Nystagmus beider Augen beobachten, der bereits von diesem Forscher als Ursache des

[1] Die Richtung der Scheinbewegung ist nicht in allen Fällen gleich deutlich, manchmal sogar umgekehrt.

Gesichtsschwindels angesehen wurde. Bezüglich der Drehempfindung stand Breuer 1874 auf dem Standpunkte, dafs die Empfindung der Drehung den Nystagmus auslöse. Soviel mir bekannt ist, vertritt er diese Anschauung heute nicht mehr, sondern betrachtet wie Nagel den Nystagmus als einen der Empfindung koordinierten Reflex. Ich glaube, dafs man den Nystagmus als bei der Auslösung der Drehempfindung mitbeteiligt ansehen mufs und dafs eine derartige Koordination von Empfindung und Reflex nicht besteht. Meine Versuche habe ich an einer grofsen Zahl von Personen angestellt, die mir aus dem reichen Krankenmateriale unserer Klinik durch die Güte meines Chefs, des Herrn Hofrat Politzer zur Verfügung standen. Soweit es sich um Selbstbeobachtungen handelt, stütze ich mich hauptsächlich auf die Angaben von sechs Kollegen.

Wenn wir um unsere vertikale Achse nach rechts gedreht werden, so tritt beim Anhalten ein nach links gerichteter horizontalen Nystagmus auf. Dieser Nystagmus ist fest stets beim Blick nach links am stärksten. Bei manchen Personen besteht er auch beim Blick nach rechts — schwächer oder auch gleich stark — fort, bei den meisten aber fehlt er bei Blick nach rechts, das Auge befindet sich hier vollständig in Ruhe. Während beim Blick nach links Scheinbewegungen der äufseren Gegenstände im Ausmafse des Nystagmus bestehen, bleiben entsprechend der Ruhe der Augen bei Blick nach rechts diese Scheinbewegungen aus.[1] Die Empfindung der Scheindrehung des eigenen Körpers scheint bei offenen Augen, so lange das Bewufstsein vollständig klar ist und man die äufseren Gegenstände scharf sieht, sehr selten zu sein. Ich verfüge nur über eine derartige Beobachtung, deren Mitteilung ich der Güte des Herrn Hofrat Mach verdanke. Hofrat Mach hat bei offenen Augen, ohne dafs er hierbei verschwommen sieht, gleichzeitig mit der Scheindrehung der Gegenstände die Empfindung einer gleichsinnigen Drehung des eigenen Körpers. In der Regel tritt die Empfindung der Scheindrehung des eigenen Körpers nur auf, wenn, wie dies nicht so selten der Fall ist, gleichzeitig mit den Scheinbewegungen der Objekte das Gesichtsfeld sich verdunkelt und man nur verschwommen sieht.

[1] Bei einer Anzahl von Personen tritt Ruhe der Augen und damit Sistieren der Scheinbewegung der Objekte bei Fixation des median vorgehaltenen Fingers ein (Purkinje, Breuer) bei anderen bleibt bei dieser Blickrichtung der Nystagmus bestehen.

Dafs in der grofsen Mehrzahl der Fälle bei offenen Augen die Empfindung der Scheindrehung des eigenen Körpers fehlt, könnte man damit erklären, dafs unser Bewufstsein durch die Empfindungen des Gesichtsschwindels derart erfüllt ist, dafs es die Empfindung der Bewegung des eigenen Körpers nicht wahrnimmt. Diese Erklärung wird aber durch die Tatsache unhaltbar, dafs man bei Blick in jene Richtung, in welcher kein Nystagmus besteht, die äufseren Gegenstände in Ruhe sieht und doch selbst nicht die Empfindung des Gedrehtwerdens hat. Aufserdem spricht ja auch die Tatsache dagegen, dafs man gerade bei Trübung des Bewufstseins die Empfindung der Scheindrehung des eigenen Körpers hat. Bereits dieses einfache Experiment spricht also gegen die Auffassung, dafs die Erregung in den Bogengängen direkt zur Drehempfindung werde. Diese Empfindung müfste ja in dem angezogenen Falle trotz oder gerade wegen der Ruhigstellung der Augen bei Blick nach rechts zum Bewufstsein kommen.

Man wurde nach rechts herumgedreht, und hält man nun beim Anhalten die Augen geschlossen, so hat man die Empfindung, in Drehung nach links begriffen zu sein. Öffnet man die Augen, so hört diese Empfindung sofort auf und an ihre Stelle tritt die Empfindung der Scheindrehung der äufseren Gegenstände. Schliefst man die Augen wieder, so beginnt wieder die Empfindung des Gedrehtwerdens. Man kann diesen Wechsel der Empfindungen mehrmals beobachten, stets aber kommt ein Moment, in welchem man bei geschlossenen Augen keine Empfindung der Scheindrehung mehr hat, bei offenen Augen aber noch deutliche Scheinbewegungen der äufseren Gegenstände sieht. Es entspricht dies der schon von Hitzig und Breuer gelegentlich der Untersuchung des galvanischen Nystagmus beobachteten Tatsache, dafs bei schwachem Nystagmus wohl Scheinbewegung der Objekte, aber keine Scheinbewegung des eigenen Körpers auftritt. Dies kann als Beweis gegen die Anschauung angesehen werden, dafs die Empfindung der Scheinbewegung den Nystagmus auslöse, da ja nach dieser Annahme die Empfindung der Scheindrehung des eigenen Körpers ebensolange dauern müfste, als der von ihr ausgelöste Nystagmus anhält. Die von Nagel vertretene Auffassung wird durch diese Tatsache nicht getroffen. Dagegen glaube ich das folgende von mir zuerst ausgeführte Experiment als einen Beweis gegen die Nagelsche Auffassung ansehen zu dürfen.

Untersucht man einen Menschen, der beim Anhalten nach Rechtsdrehung den nach links gerichteten Nystagmus nur bei Blick nach links zeigt, und läfst diesen beim Anhalten die geschlossenen Augen nach rechts wenden, so hört mit dem Nystagmus auch sofort die Empfindung des Gedrehtwerdens auf. Blickt man wieder nach links, so fängt die Empfindung der Scheindrehung sofort wieder an; wechselt man die Blickrichtung mehrmals, so kann man jedesmal bei Blick nach links die Empfindung der Scheindrehung, bei Blick nach rechts Aufhören dieser Empfindung beobachten. Würde die Empfindung direkt in den Bogengängen ausgelöst, so könnte ja die Stellung der Augen nicht von Einflufs auf diese Empfindung sein resp. man müfste, wenn man diese Annahme dennoch feststellen wollte, zu einem äufserst komplizierten Hypothesenbau seine Zuflucht nehmen. Dieses einfache Experiment spricht also auch gegen die herrschende Lehre.

Meiner Meinung nach verhält sich die Sache folgendermafsen. Durch die Drehung des Kopfes wird ganz entsprechend der Mach-Breuerschen Theorie eine Verschiebung der Endolymphe in den betreffenden halbzirkelförmigen Kanälen hervorgerufen, welche eine Verlagerung der den Crustae ampullarum aufsitzenden cupulae bewirkt. Dauert die Drehung nur kurze Zeit, so erfolgt beim Anhalten der Gegenstofs der Endolymphe, welcher die cupulae in ihre ursprüngliche Lage zurückbringt. Dauert die Drehung aber längere Zeit an, so wird die Rückverlagerung der Cupula durch die Elastizität der Epithelhaare, Schleimtropfen etc. bewirkt und nimmt bei der geringen Gröfse der in Betracht kommenden Kraft längere Zeit in Anspruch. Hält man nach Drehung plötzlich an, so bewegt sich infolge der Trägheit die Endolymphe noch eine kurze Zeitlang weiter und verlagert hierbei die Cupulae in der ursprünglichen Drehungsrichtung. Es dauert längere Zeit, bis die Cupula durch die Elastizität der Epithelhaare wieder in ihrer primären Lage zur Ruhe gebracht werden.

Die Kerne der Vestibularnerven in der Medulla oblongata stehen durch das hintere Längsbündel mit den Kernen der Augenmuskeln in Verbindung und auf diesem Wege findet die Übertragung der Erregung auf die Augenmuskeln statt, die als Nystagmus in Erscheinung tritt. Vestibularisfasern zur Hirnrinde sind bisher nicht nachgewiesen. Es ist daher die Annahme

gerechtfertigt, dafs die Fasern des Vestibularis in den Kernen der Augenmuskeln oder in einem in unmittelbarer Nähe derselben befindlichen Schaltneuron sämtlich oder gröfstenteils unterbrochen werden. Damit die Empfindung der Scheindrehung ausgelöst werde, mufs zu der Erregung in den Fasern des Vestibularis die in den Kernen der Augenmuskeln während des Nystagmus ablaufende Erregung hinzutreten. Wird letztere gehemmt, so kommt die Empfindung der Scheindrehung nicht zustande.

Mit der vom Corten ausgehenden Hemmung des Nystagmus ist öfter auch eine Hemmung der beim Anhalten nach Drehung auftretenden Gleichgewichtsstörungen verbunden. Dreht man sich bei nach vorn geneigtem Kopfe z. B. nach rechts, so entsteht beim Anhalten ein horizontaler rotatorischer Nystagmus nach links, der beim Blick nach links am stärksten ist, beim Blick nach rechts aufhört. Steht man unmittelbar nach dem Anhalten auf, richtet den Kopf gerade und blickt unter geschlossenen Lidern nach rechts und links, so bemerkt die beobachtende Person stets bei Blick nach links starkes Schwanken nach rechts, bei Blick nach rechts schwächeres Schwanken, ja sogar ruhiges Stehen. Nur im ersten Moment, wenn auch noch bei Blick nach rechts Nystagmus besteht, schwankt die Versuchsperson auch bei Blick nach rechts. Später kann man den Wechsel von Schwanken und Nichtschwanken bei Blickwechsel mehrmals beobachten.

Es wäre noch die Frage zu beantworten, in welcher Weise die Augenbewegungen bei der Auslösung der Empfindung der Scheindrehung (bei geschlossenen Augen) mitbeteiligt sind. Es bestehen zwei Möglichkeiten. Entweder sind es die in der Orbita bei der Bewegung der Augen entstehenden Muskel- und Tastempfindungen, welche hier eine Rolle spielen oder es werden die Erregungszustände in den Kernen der Augenmuskeln direkt verwertet. Besteht die erste Annahme zu recht, dann mufs ein Fall, dessen Bulbi durch irgend einen Prozefs in der Orbita vollkommen unbeweglich stehen, — mechanisches vollständiges Fixieren meiner Bulbi durch Druck war mir unmöglich — also z. B. ein Fall mit doppelseitigem Orbitalabszefs, ein Fall von Thrombose des Sinus cavernosus beim Anhalten nach Drehung keine Empfindung der Scheindrehung haben.[1]

[1] Einen Fall von beiderseitiger Bulbusenukleation habe ich untersucht. Er hatte normale Drehempfindung; man sah auch an den Stümpfen typischen Nystagmus.

Möglich jedoch, dafs die Unbeweglichkeit des Bulbi, oder die Exstirpation der Augenmuskeln, keinen Einflufs auf die Entstehung der Empfindung der Scheindrehung hat. Dann würde nur ein Fall mafsgebend sein, in welchem eine beiderseitige, totale, zentrale Lähmung sämtlicher Augenmuskeln bei intaktem Gehörorgan vorliegt, ein Fall, wie er, obwohl sehr selten, schon wiederholt beobachtet ist. Von diesen Beobachtungen wird die definitive Entscheidung dieser Frage abhängen.

Vorläufig aber nehme ich an, dafs die Bogengänge zwar entsprechend der Mach-Breuerschen Theorie erregt werden, dafs jedoch ihre Erregung nicht direkt zur Empfindung wird, sondern reflektorisch bestimmte Augenbewegungen auslöst. Diese sind bei der Auslösung der Drehempfindung als mitbeteiligt anzusehen. Ich habe bisher absichtlich das Wort Drehschwindel vermieden, und möchte zum Schlusse noch sagen, was man meiner Meinung nach mit Drehschwindel bezeichnen sollte. Unter Drehschwindel hat man einen Empfindungs- und Vorstellungskomplex zu verstehen, der in mehrere Komponenten zerlegt werden kann. Diese sind 1. die Empfindung der Scheindrehung und zwar a) die Empfindung der Scheinbewegung der äufseren Objekte, b) die Empfindung der Scheinbewegung des eigenen Körpers. 2. Bewufstseinsstörung mit Beeinträchtigung der Wahrnehmung der Aufsenwelt. 3. Reaktionsbewegungen (Gleichgewichtsstörungen. 4. Unlustgefühle, Üblichkeiten. Ad 1. Es ist oft der Fall, dafs von sämtlichen Komponenten des Drehschwindels nur diese eine auftritt; dann sollten wir aber nicht von Drehschwindel, sondern von Drehempfindung sprechen. Ad 2. Die bei der Erregung der Bogengänge auftretenden Bewufstseinsstörungen können von der leichtesten Trübung des Sensoriums bis zur Bewufstlosigkeit und Ohnmacht gehen. Hierbei kommt es, sei es koordiniert, sei es als Folge der Bewufstseinstrübung zu einer Störung der Wahrnehmung der äufseren Gegenstände. Das Gesichtsfeld verdunkelt sich, die Gegenstände verschwimmen, es flimmert vor den Augen, manche sehen Farben vor den Augen tanzen. Eine derartige Störung der Wahrnehmung der Aufsenwelt wirkt im äufsersten Falle wie Augenschlufs. Es wird keine Drehung der äufseren Gegenstände mehr empfunden, sondern nur die Scheindrehung des eigenen Körpers. Ist die Störung nicht so hochgradig, dann empfindet man Drehung der äufseren Gegenstände und Drehung des eigenen

Körpers zugleich. Ist das Bewufstsein klar oder nur minimal getrübt, so ist man stets auch während des Schwindels über die Lage seines eigenen Körpers und der Aufsenwelt orientiert. Bei gut konzentrierter Aufmerksamkeit kann man dann mit geschlossenen Augen sowohl die durch den Nystagmus ausgelöste Scheindrehung als auch die wirklich ausgeführte Reaktionsbewegung beobachten; trotz dieses Widerstreits der Wahrnehmungen kann Schwindelgefühl fehlen oder nur in minimalem Grade vorhanden sein. Je stärker die Bewufstseinstrübung, desto stärker in der Regel das Schwindelgefühl und bei hochgradiger Bewufstseinstrübung tritt dann die vollständige Desorientiertheit über die eigene Lage und die Lage der äufseren Gegenstände auf, wenn auch vielleicht im gegebenen Falle Nystagmus und Drehempfindung nicht sehr hochgradig sind. In der Regel allerdings kommt es desto leichter zur Bewufstseinstrübung, je stärker der Nystagmus und mithin die Empfindung der Scheindrehung ist. — Ad 3. Die im Verlaufe des Drehschwindels auftretenden Gleichgewichtsstörungen sind zweierlei Art. a) Reaktionsbewegungen entsprechend der Scheindrehung. b) Folgen der Bewufstseinstrübung. Die ersteren sind dadurch gekennzeichnet, dafs sie immer in der Ebene erfolgen, in welcher der Nystagmus statthat und immer entgegengesetzt der Richtung verlaufen, in welche die schnelle Komponente des Nystagmus schlägt. — Besteht horizontaler Nystagmus und wird der Kopf aufrecht gehalten, so findet bei klarem Bewufstsein überhaupt keine Gleichgewichtsstörung statt, die Versuchsperson dreht sich nur, wenn sie feststehen will, noch ein Stück in der ursprünglichen Drehungsrichtung weiter. Gleichgewichtsstörungen als Folge von Reaktions bewegungen treten nur auf, wenn die Achse, auf welcher die Ebene des Nystagmus senkrecht steht, mit der vertikalen Körperachse einen Winkel einschliefst. Wichtig ist, dafs die Reaktionsbewegung ganz unabhängig davon ist, ob die Scheindrehung zum Bewufstsein kommt oder nicht; sie wird also sicher subkortikal ausgelöst. — Die Gleichgewichtsstörungen, welche eine Folge der Bewufstseinstrübung sind, halten sich an keine Regel. Meist aber fällt der Patient nach rückwärts oder knickt in sich zusammen.

4. Unlustgefühl, Üblichkeiten bis zum wirklichen Erbrechen stellen die vierte Komponente dar. Auch sie können bei starken Scheinbewegungen fehlen und bei anderen Personen trotz ge-

ringen Nystagmus und geringen Scheinbewegungen außerordentlich stark werden. Es hängt dies sicherlich mit Erregbarkeitsverhältnissen in den betreffenden Kernen der Medulla oblongata zusammen. Nach diesen Erörterungen kann ich den Drehschwindel definieren als eine mit Bewußtseinstrübung einhergehende Empfindung der Scheindrehung, sei es der Außenwelt und des eigenen Körpers, oder des eigenen Körpers allein, in Verbindung mit Reaktionsbewegungen (Störungen des Gleichgewichts, mit Unlustgefühlen resp. Üblichkeiten bis zum wirklichen Erbrechen.

(Eingegangen am 15. November 1905.)

(Aus der physikalischen Abteilung des physiologischen Instituts
der Universität Berlin.)

Ein Fall von Grünblindheit (Deuteranopie) mit ungewöhnlichen Komplikationen.

Von

Dr. Alfred Guttmann.

Bei Gelegenheit von Massenuntersuchungen über die Verbreitung der Anomalien des Farbensinns, die an Soldaten der Berliner Garnison abgehalten wurden und über die nach Abschlufs der Untersuchungen berichtet werden wird, gelangte zu meiner Kenntnis ein Fall, der sich nach manchen Richtungen von den bisher bekannten abnormen Farbensystemen unterscheidet. Mit Erlaubnis des Herrn Professor Nagel, dem ich hierfür, wie für mehrfache Ratschläge im Laufe der Untersuchungen meinen besten Dank ausspreche, habe ich dann den Fall, der dem physiologischen Institut vom Regiment aus mit der Diagnose: „Total(?)“ (sc. farbenblind) zugeschickt wurde, näher untersucht und will im folgenden darüber berichten.

Vorgeschichte.

Herr Emil B. ist zu Strafsburg i. E. 1876 geboren, nach Überstehung der Kinderkrankheiten ist er stets gesund gewesen; er besuchte eine Oberrealschule bis Prima, wurde Techniker und diente zur fraglichen Zeit bei einem Eisenbahnregiment. Weder auf der Schule, noch während des Studiums wurde nach Angabe des Herrn B. eine Unsicherheit seiner Farbenbezeichnungen von ihm noch von Anderen jemals bemerkt, auch bei mehrfachen Untersuchungen seines Farbensinns nach verschiedenen Methoden wurde er als „farbentüchtig“ befunden. Erst bei der obengenannten Untersuchung (die mittels der im physiologischen

Institut hierselbst üblichen und nunmehr in der Armee eingeführten NAGELschen Methoden [NAGELS Lampe und Tafeln] vorgenommen wurde), ward er als Farbenblinder erkannt und der physikalischen Abteilung des Instituts zur Nachprüfung überwiesen. Hier ergaben sich zunächst so auffällige Abweichungen von den bekannten Typen der Farbenblinden, dafs der Verdacht entstand, Herr B. simuliere oder verstehe nicht, worauf es bei der Untersuchung ankomme. Ich will aber hier schon bemerken, dafs dieser Verdacht sehr bald fallen mufste: Herr B. erwies sich im Laufe der mehrwöchigen Untersuchungen als äufserst zuverlässige, und durchaus intelligente Versuchsperson — eher dem Typus der übermäfsig Vorsichtigen zugehörig.

Untersuchung der Rot- und Grün-Empfindung.

Bekanntlich kann für alle Rot-Grün-Blinden eine für sie absolut gültige Farben- und Helligkeitsgleichung zwischen einem roten (670 $\mu\mu$ = Li) und einem gelben (590 $\mu\mu$ = Na) Licht hergestellt werden. Differentialdiagnostisch aber ist es von ausschlaggebender Bedeutung, dafs man für den Rotblinden (Protanopen) dem roten Licht etwa die $4^1/_2$—5fache Helligkeit geben mufs, um es dem gelben Licht gleich zu machen, als für den Grünblinden (Deuteranopen), für den Rot und Gelb etwa entsprechende Helligkeitswerte haben, wie für den Normalen. Auf diesem Prinzip beruht die Untersuchung mit der NAGELschen Lampe: wenn die beiden farbigen Gläser (gelb und rot) für das normale Auge annähernd gleich hell sind, so sind sie für den Deuteranopen sowohl gleich hell wie gleichfarbig; nicht aber für den Protanopen: um für den Protanopen eine Gleichung zu erzielen, mufs das rote Glas ganz wesentlich heller erleuchtet sein. Dem Protanopen erscheint die für den Deuteranopen gültige Gleichung ebenso falsch, wie umgekehrt dem Deuteranopen die Protanopengleichung. Auch die ungeübten und unintelligentesten farbenblinden Rekruten gaben diese Differenzen deutlich an. Anders Herr B., der beide Arten von Einstellungen für „gleichhell und gleichfarbig" erklärte. Da die NAGELsche Lampe ein praktisch verwendbares diagnostisches Hilfsmittel, aber kein Präzisionsinstrument ist, untersuchte ich B. am HELMHOLTZschen Farbenmischapparat[1] in

[1] Das Prinzip und die Anwendungsart des HELMHOLTZschen Farbenmischapparates setze ich als bekannt voraus und erinnere hier nur daran,

entsprechender Weise: ich erleuchtete die eine Hälfte des im Okularrohr erscheinenden Kreises mit gelbem Licht (Na), die andere mit gleichhellem roten (Li). B. erklärte darauf, er sähe „eine einzige mondähnliche, gelbe Scheibe". Dann änderte ich die Helligkeiten des roten Halbkreises, bis B. (auf fortwährendes Befragen) angab, jetzt werde es ungleich. Es stellte sich dabei heraus, dafs es sowohl nach der Seite der gröfseren wie der geringeren Helligkeit zwei überraschend scharfe Grenzen gab, über die hinaus ihm die zwei Halbkreise ungleich erschienen. Dieser Schwankungsbereich entspricht aber einer anderen Gröfsenordnung als der des Deuteranopen. Für die betr., von mir gewählte Helligkeit des gelben Lichtes erschien ihm das rote Licht gleichfarbig und gleichhell innerhalb der Spaltweitenänderung von 40—105! Der gewöhnliche (in diesem Falle geübte) Deuteranop aber stellt sonst etwa 40—42 ein, nie darüber hinaus, während die für den Protanopen gültige Helligkeit des Rot, die es für ihn dem Gelb gleichmacht, mindestens viermal gröfsere Spaltweite verlangt. Diese Helligkeitsdifferenzen sind ja das einzige Kriterium, das die Farbenblinden haben, um einen Mangel an Übereinstimmung der beiden Farben zu erkennen und eine Differenz der Farben selbst daraus zu folgern. Ihre Empfindlichkeit für Helligkeitsdifferenzen ist auch sehr grofs (vielleicht mit infolge dieser Einübung). Für Herrn B. aber versagte dieses Hilfsmittel fast vollkommen. Denn hier zeigte sich, dafs er zwar die engbegrenzte Grünblinden-(Deuteranopen)Gleichung anerkannte, dafs er aber innerhalb viel weiterer Grenzen noch Helligkeitsunterschiede nicht bemerkte und zwar nach der Seite der Helligkeitsgleichheit des Rotblinden (Protanopen). Ein ähnliches Bild bot sich, wenn ich ihm Scheingleichungen zwischen rotem (Li) und grünem Licht (Tl) zeigte. Ich konnte die Spaltbreiten zwischen 30—65 variieren, ohne dafs B. es bemerkte. Der gewöhnliche Deuteranop stellte 30—34 ein! Jene für B. gültigen Grenzen sind immer scharf und jederzeit feststellbar gewesen.

Zur Ergänzung und Kontrolle dieser merkwürdigen Abweichungen wurde dann eine Grünblindengleichung in der Art

dafs die Spaltweiten, an denen die Lichtintensitäten abgelesen werden, diesen direkt proportional sind.

hergestellt, dafs der eine Halbkreis mit einem Gemisch aus blauem und rotem Licht (Purpur), der andere mit einem homogenen Blaugrün erleuchtet war. Hier stellte ein Deuteranop (Professor NAGEL), indem er durch Änderung der Kalkspatstellung das Gemisch variierte, bis es dem homogenen konstanten Licht gleich war, am Nikol 40° ein; eine Abweichung nach der blauen, wie nach der roten Seite um 1° genügten, um die beiden Mischungen einander farbungleich erscheinen zu lassen. B. erkannte diese Gleichung an, aber ich konnte für ihn das Verhältnis der zwei gemischten Farben sehr ändern, ohne dafs er einen Unterschied erkannte und zwar nach der einen Seite (blau) bis 35°, nach der anderen sogar bis 50°! Darüber hinaus bemerkte er eine Differenz, die er jedoch noch nicht als Farbendifferenz erkannte, sondern für eine Helligkeitsdifferenz hielt; wenn ich dann diese „Helligkeitsdifferenz" seiner Aussage gemäfs korrigierte, erkannte er sogar noch bei einer Nikolstellung von 55° die Einstellungen als „gleich" an. Das sind nun aber Unterschiede, die jeder Dichromat mit Sicherheit erkennt, da sie seine Schwankungsbreite um das vielfache überschreiten: der eine Halbkreis ist eben für den Rotgrünblinden mit „kaltem", der andere mit „warmem" Licht beleuchtet, die ihm auch bei scheinbar gleicher Helligkeit als ganz verschieden erscheinen.

Diese ersten Untersuchungen wiesen also darauf hin, dafs es sich bei B. nicht um eine gewöhnliche Grünblindheit, sondern um Kombination zwischen der — mit obigen Versuchen bereits bewiesenen — Deuteranopie und anderen Störungen handeln mufste, die wohl in herabgesetzter Unterschiedsempfindlichkeit einerseits für Helligkeiten, andererseits für „kalt" und „warm", d. h. blau und gelb, bestehen mufste.

Untersuchung der Helligkeitsempfindung.

Mittels einer modifizierten MASSONschen Scheibe wurde B. am Kreisel ein rotierender weifser Kreis mit feinen, hellsten, grauen Streifen gezeigt. B. blieb bei ihrer Erkennung fast gar nicht hinter dem Normalen, wie hinter dem Deuteranopen in bezug auf Erkennung dieser Helligkeitsdifferenzen zurück. Auch wenn ich ihm am Farbenkreisel zwei verschieden helle Weifs-Schwarz-Mischungen darbot, erkannte er ziemlich geringe Differenzen. Anders, als ich den Versuch so einrichtete, dafs ich zwei weifse,

dünne Kartonscheiben nebeneinander stellte und sie, jede für sich, von hinten durch zwei gleichartige, getrennte, jederseits mittels Irisblenden abstufbare Lichtquellen erleuchtete. Hierbei bemerkte er ganz aufserordentlich starke Helligkeitsunterschiede niemals. Ganz vergleichbar ist der Versuch allerdings vielleicht insofern nicht, als diese Kartonscheiben, die ihm völlig farblos erschienen, etwas ins Gelbliche spielten. Derartig grobe Fehler machte er auch sonst bei farblosen Helligkeitsunterschieden nicht. Besonders auffällig war aber gerade bei diesen Versuchen eine zutage tretende Inkonstanz seiner Aussagen, die ja an sich schon für eine Störung auf diesem Gebiet pathognostisch ist. Während er z. B. an dem CHIBRETschen Chromato-Photometer, das die quantitativen Unterschiede farbloser (und farbiger) Helligkeiten an einer Skala direkt abzulesen gestattet, jede dem Normalen erkennbare, farblose Helligkeitsdifferenz bei einer erstmaligen Untersuchung sogleich bemerkt hatte, erkannte er am folgenden Tage eine Abweichung um das vielfache nicht. Ich bemerke, dafs ich niemals einen äufseren Grund für derartige Schwankungen fand, Herr B. war scheinbar zu allen Tageszeiten immer gleich disponiert, unermüdlich und mit Interesse bei der Sache; seine Aussagen waren auch, wie meine durch mehrere Wochen sich hinziehenden Protokolle beweisen, ganz aufserordentlich genau und stimmen — aufser in bezug auf diese „Helligkeitsschwäche", wenn man so sagen darf — sehr gut miteinander überein. Am krassesten trat diese herabgesetzte Unterschiedsempfindlichkeit für Helligkeitsdifferenzen zutage, wenn ich B. gleiche Farben von verschiedener Helligkeit vorlegte. Dies geschah z. B. am Farbenkreisel in der Weise, dafs ich aufsen und innen das gleiche Farbenpapier mit verschieden grofsen Sektoren von Weifs (resp. Schwarz-Weifs-Kombinationen) mischte und zwar fortschreitend, bis er das Ganze nicht mehr als „eine einzige Scheibe", sondern als einen inneren Kreis und einen äufseren differenten (verschieden hellen oder verschiedenfarbigen) Ring bezeichnet. So konnte ich z. B. von ein und demselben Blau zu Weifs aufsen 49°, innen 8° beimischen, ohne dafs B. einen Unterschied bemerkte: er nannte derartige Mischungen stereotyp: „eine einfarbige Scheibe"!

Genau dasselbe Bild bot B. am Farbenmischapparat. Ich gebe einige Proben aus meinen Protokollen:

1. Links und rechts ist ein rotes Licht von 670 $\mu\mu$ (Li) ein-

gestellt; ich stellte für die Vergleichsperson die Gleichung her, indem ich die Spaltweite auf einer Seite änderte und somit die Lichtmengen regulierte, bis die Versuchsperson angab, keinen Unterschied zu erkennen. Es werden für die betr. mittlere, als zweckmäfsig gewählte Helligkeit als gültige Grenzen, innerhalb deren keine Helligkeitsdifferenz bemerkt wird, anerkannt die Spaltweiten = 25—26, B. erkennt 20—40 an.

2. Nach genau demselben Verfahren wird eine Helligkeitsgleichung bei gelbem, objektiv beiderseits gleichem Licht eingestellt (Na = 589 $\mu\mu$). Kontrollperson = 19—21 Spaltweite; B. = 17—31.

3. Dasselbe bei reinem Grün (Tl = 535 $\mu\mu$). Kontrollperson = 22—24 Spaltweite; B. = 19—35.

4. Dasselbe bei blauem Licht (ca. 460 $\mu\mu$). Kontrollperson = 61—63; B. = 40—110.

Weiter nach dem kurzwelligen Ende des Spektrums diese Untersuchungen fortzusetzen, erübrigte sich angesichts dieser kolossalen Minderwertigkeit seiner Unterschiedsempfindlichkeit für Helligkeiten.

Untersuchung der Blau- und Gelb-Empfindung.

Erheblich schwieriger war es, die Art seiner Farbenblindheit mit Bestimmtheit zu diagnostizieren. Ein einmaliger Versuch (gemeinsam mit Dr. Simon, dessen grofse Erfahrung speziell in Fragen der Violettblindheit mir überhaupt bei diesen Untersuchungen wiederholt zur Seite stand) nach der Koenigschen Methode eine Kurve aufzunehmen, ist nicht ganz zu Ende geführt worden und konnte aus Mangel an Zeit der Versuchsperson nicht mehr wiederholt werden. Immerhin kann soviel gesagt werden, dafs die Untersuchung ergab, dafs es sich um ein dichromatisches System handelte, wobei Lage und Gipfel der Kurve durchaus der des Deuteranopen entsprach, was ja vollkommen mit den obigen Versuchen übereinstimmt. Daneben mufste aber noch eine Störung im Gebiet des Violett vorliegen, die ich leider nicht zahlenmäfsig belegen kann. Herr B. hat unmittelbar nach Beendigung seiner Dienstzeit Berlin verlassen und die verhältnismäfsig kurze, dienstfreie Zeit, die er mir freundlichst zur Verfügung stellte, war durch andere dringende Versuche vollkommen in Anspruch genommen. So wird der Leser vielleicht auch noch anderswo Lückenhaftigkeit

meiner Untersuchungen konstatieren, die mir selbst nicht entgangen ist, sich aber aus obigen Gründen nicht vermeiden liefs. Übrigens sind die technischen Schwierigkeiten einer Kurvenkonstruktion gerade im kurzwelligen Ende des Spektrums nicht unerheblich; zumal wo es sich wie hier um einen ganz besonders komplizierten Fall handelt. Davon abgesehen habe ich nun durch zahlreiche Versuche bei Herrn B., kurz gesagt, alle typischen Verwechslungen nachweisen können, die der Grünblinde (Deuteranop) macht, die ich als den Lesern dieser Zeitschrift bekannt voraussetzen kann. Nur übertraf seine Minderwertigkeit farbigen Reizen gegenüber die des typischen Grünblinden einerseits in der oben beschriebenen „Helligkeitsschwäche", andererseits in der eigentümlichen, mangelhaften Empfindlichkeit auf für gelbe und blaue Mischfarben. Der gewöhnliche Grünblinde erkennt, gerade weil das Grün für ihn farblos ist, ganz geringe Zusätze von Blau (als „kalt") und gelb (als „warm") zu Grün sehr genau, während Herr B., wie oben beschrieben, auch hierin grobe Fehler machte. So lag es nahe, anzunehmen, dafs er aufser Rot-Grün-blind auch Blau-Gelb-blind, also wirklicher Monochromat sei. Dies traf aber, wie oben gesagt, nicht zu. Auch alle speziellen Versuche, Tritanopie festzustellen, fielen negativ aus. Es gelang nicht, weder am Kreisel noch am Spektralapparat, für Herrn B. gültige Gleichungen zwischen Blau einerseits und Gelbgrün (oder Grün resp. überhaupt einer jenseits vom Blaugrün liegenden Farbe) andererseits herzustellen.[1]

Dafs B. zwischen blaugrünem und jedem nach dem kalten Spektralende liegenden Licht bei richtigem Helligkeitsverhältnis

---

[1] Ein einziges Mal erkannte B. am Farbenmischapparat eine Einstellung, bei der ihm auf der einen Seite ein blaues Licht, auf der anderen ein gelbgrünes gezeigt wurde, als „gleich" an. Aber weder unmittelbar danach, noch jemals später hat er dann eine derartige Einstellung als gleich anerkannt. Wie er hier einmal nach der Seite des Totalfarbenblinden zu neigen schien, so machte er ein andermal den Eindruck des gewöhnlichen Deuteranopen. Wie mir Prof. Nagel mitteilt, fand er bei einer Untersuchung mittels der obenbeschriebenen Neutralgleichung (Blaugrün-Purpur) dieselbe Unterschiedsempfindlichkeit wie bei sich selbst; Prof. Nagel hat sich aber selbst später überzeugt, dafs B. die Neutralgleichung nie wieder so herstellen konnte; bei fünfmaligen, diesbezüglichen Versuchen fand ich stets genau die oben (cf. S. 48) angegebenen Grenzen. Diese beiden auffälligen Abweichungen glaube ich noch besonders erwähnen zu müssen, ohne sie erklären zu können.

Gleichungen herstellen kann, gehört nicht mehr zum Wesen des Deuteranopen, dessen Endstrecke erst im Indigo beginnt.

Auf andere Weise gelang es, die Störung seines Blau-Gelb-Sinnes qualitativ wie quantitativ zu beweisen. Am Farbenkreisel konnte ich für ihn eine Gleichung 1.) zwischen Gelbgrau und Grau und 2.) zwischen Blaugrau und Grau herstellen. Nachdem ich die blaugraue, wie gelbgraue Mischung eruiert hatte, die ein und demselben Grau (Schwarz + Weifs) gleich waren, zeigte ich sie ihm zugleich auf demselben Kreisel. Auch jetzt bildeten die zwei für den Grünblinden (wie für den Normalen), vollkommen verschiedenfarbigen, aber ungefähr gleichhellen Flächen für B. „eine einzige, gleichfarbige Scheibe“. Er sah zwischen dem deutlich gelben und deutlich blauen Grau nicht den geringsten Unterschied. Die betreffenden Zahlen, an denen man die Gröfse seiner Minderwertigkeit auch für gelbe und blaue Töne sehen (und nachprüfen) kann, lauten:

12° blau + 348° schwarz-weifs = 50° gelb + 310° schwarz-weifs.

Ein geringer Mehrzusatz sowohl von Blau wie von Gelb wurde zunächst daran von B. erkannt, dafs die Scheibe „verschieden“ wurde, als Farbe wurde dann bei weiterem Zusatz zuerst „Gelb“ erkannt, „Blau“ dann erst bei noch stärkerer Vergröfserung des blauen Sektors.

Damit scheint mir eine Schwäche seines Blau-Gelb-Sinnes bewiesen, die neben seiner Grünblindheit und herabgesetzten Unterschiedsempfindlichkeit für Helligkeiten farbloser und farbiger Objekte sich isoliert diagnostizieren liefs.

Sonstige Versuche.

Meine wiederholten Versuche, B.s Farbenbezeichnungen exakt zu fixieren, sind nicht gelungen. Weder am objektiven Spektrum in seiner Totalität konnte ich mit Sicherheit einen Defekt (wie eine Verkürzung z. B.) feststellen, noch gelang es mir, an den isolierten Spektralfarben eine deutliche Abweichung seiner Bezeichnungen von denen anderer Grünblinder zahlenmäfsig zu beweisen. Je häufiger man solche Versuche macht, um so klarer wird man darüber, dafs aus derartigen Farbenbezeichnungen gar nichts auf die wirklichen Farbenempfindungen der Besitzer alterierter Farbsysteme gefolgert werden darf. Wieweit sie ihre rudi-

mentären Empfindungen und sekundären Kriterien (je nach Intelligenz und Übung) verwerten, entzieht sich vollkommen der Beurteilung der Untersucher. Wenn der Zufall günstig spielt, so kann er diese Bezeichnungen gut mit der ihm richtig erscheinenden Theorie in Einklang bringen; im anderen Fall läfst sich ja alles mit der bekannten Unsicherheit dieser Bezeichnungen erklären. So war ich auch nach zweimaliger, genauer Durchuntersuchung der B.schen Spektralfarbenbezeichnungen geneigt, zu glauben, dafs er nicht, wie die Dichromaten, einen neutralen Punkt, sondern eine neutrale Strecke im Spektrum habe. Erst später überzeugte ich mich, dafs er sich durchaus nicht vom gewöhnlichen Deuteranopen in seinen Bezeichnungen unterschied, während er doch in seinen Empfindungen ganz bedeutend abwich. Es ist eben praktisch undurchführbar, die für derartige Untersuchungen nötigen, völlig konstanten, physikalischen und physiologischen Versuchsbedingungen anzustellen.

Von den sonstigen zahlreichen Versuchen will ich noch einige trotz — oder besser gesagt wegen — ihres negativen Ausfalls erwähnen:

1. Stillings isochromatische Tafeln. (X. Auflage.) B. konnte nur Tafel I lesen, sonst gelang es ihm trotz vieler Versuche nicht, eine einzige Zahl zu entziffern, auch nicht die einzelnen farbigen Kreise als solche zu erkennen. Wenn man ihm Punkt für Punkt einzelne Zahlen demonstrierte, war er aufserstande, sie unmittelbar darauf zu zeigen.

2. Ein Unterschied der Farbenempfindungen der beiden Augen besteht nicht.

3. Ebensowenig spielt die Winkelgröfse der Flächen, die er in bezug auf Helligkeit wie Farben beurteilen soll, irgend eine bis jetzt nachweisbare Rolle; er kann nicht mehr leisten, ob man ihm eine foveale oder grofse Fläche darbietet.

4. Zwischen dem Farbensinn des Zentrums und der parazentralen Teile konnte ich keinen Unterschied finden.

5. Seine Dunkeladaptation ist (nach einem etwas summarischen, sonst für Vorlesungszwecke angewendeten Verfahren geprüft) normal.

6. B. verhält sich gegenüber dem Purkinjeschen Phänomen normal.

7. Ophthalmoskop. Befund (Dr. Simon). Beiderseits Kurzsichtigkeit, links mit leichtem Astigmatismus.

Rechts — 5,75 Dioptrien, Sehschärfe = $^5/_4$
Links — 6,0 ⊃ cyl — 05, Sehschärfe = $^5/_4$
Augenspiegelbefund normal bis auf Staphylom auf beiden Augen.

Literatur.

Es sind einige Fälle bereits bekannt — jeder eine Art Unikum — die nach mancher Richtung dem meinigen ähneln. Meines Wissens ist aber ein gleicher Fall noch nicht beobachtet worden.

1. In erster Linie ist hier der von v. VINTSCHGAU und HERING[1] veröffentlichte Fall zu nennen. Diese Autoren fanden „Blaugelbblindheit", daneben „Rotgrünschwäche" und herabgesetzte Empfindlichkeit für Helligkeiten — also das Spiegelbild zu meinem Fall, was die Farbenempfindungen betrifft und das Analogon in bezug auf Helligkeitsschwäche.

2. KOENIG[2] beschrieb als „Pseudomonochromasie" einen Fall von Rotblindheit mit Violettschwäche. Dieser Fall ähnelt dem meinigen insofern mehr, als es sich um die gröbere Störung im Gebiet des Rot-Grün-Sinnes, die geringere im Gebiet des Blau-Gelb-Sinnes handelte. Dagegen unterscheidet sich sein Fall von dem von mir beschriebenen zunächst, wie sich jeder Protanop vom Deuteranopen unterscheidet, sodann aber dadurch, dafs er sich in der Tat ähnlich wie ein Monochromat den farbigen Reizen des täglichen Lebens gegenüber verhielt; er erklärte fast alle Gegenstände für völlig farblos; es bestand grofse Lichtscheu, Abhängigkeit von einem Optimum der Helligkeit, um überhaupt über Farben und Helligkeiten urteilen zu können, Leistungsunfähigkeit der Augen trotz guter Sehschärfe usw. Eine Unterempfindlichkeit für Helligkeitsdifferenzen hat KOENIG nicht festgestellt. Eine grofse Verschiedenheit zwischen diesem Fall und Herrn B. besteht also, abgesehen hiervon und von der Typusverschiedenheit, besonders in praktischer Hinsicht. B. ist vollkommen arbeitsfähig und mufs doch auch seine rudimentären Farbenempfindungen im täglichen Leben ganz gut verwerten können, wenn es ihm gelingt, bei mehrfachen Untersuchungen auf der Schule und im

[1] VON VINTSCHGAU u. E. HERING: Über einen Fall von Gelbblaublindheit. *Pflügers Archiv f. d. ges. Physiol.* 57. 1894.

[2] KOENIG: Eine bisher noch nicht beobachtete Form angeborener Farbenblindheit (Pseudomonochromasie). *Zeitschr. f. Psych. u. Physiol. der Sinnesorgane* 7.

Berufsleben, sowie in seiner eigenen Auffassung als „farbentüchtig" zu erscheinen. B. malt z. B. und hat auch als Techniker viel mit Farben — auf Bauzeichnungen — zu arbeiten; dementsprechend hat er auch eine Menge subtiler Bezeichnungen für Farben (er spricht von „Kobaltblau", „hellem Karmin", „Generalstabsrot" u. a.) und war vor diesen Untersuchungen fest überzeugt, im Besitz eines guten Farbensinns zu sein. So bezeichnet KOENIG seinen Fall mit Recht als Pseudomonochromaten, während B. eigentlich dem Dichromaten, objektiv wie subjektiv, näher steht.

3. SILEX [1] beschrieb einen ähnlichen Fall wie KOENIG.

4. WEHRLI [2] beschrieb einen Fall von hochgradiger, ebenfalls an totale Farbenblindheit grenzender Farbensinnstörung. Eine exakte Diagnose stellt WEHRLI (mangels geeigneter diagnostischer Apparate) nicht. Er beschreibt den Fall zudem in einer für den Praktiker richtigen Weise, läfst aber — mit voller Absicht — manche theoretisch interessanten Fragen unerledigt. Soweit sich vermuten läfst, handelt es sich um einen ähnlichen Fall wie bei KOENIG. Es sei nicht unerwähnt gelassen, dafs WEHRLI die von früheren Autoren genauer geprüfte Unterschiedsempfindlichkeit nur ganz oberflächlich untersucht und danach normal gefunden hat (S. 6 letzter Abschnitt). Würde ich Herrn B. nur in dieser Weise untersucht haben, so müfste ich auch seine „Unterschiedsempfindlichkeit" für normal erklären, was nach den oben angeführten Versuchen durchaus nicht behauptet werden kann.

5. Schliefslich sei noch der von PIPER [3] neuerdings veröffentlichte Fall herangezogen, von dem uns hier allerdings nur der Befund am rechten Auge interessiert: es bestand Violettblindheit des Zentrums und der parazentralen Teile, daneben noch eine „gewisse Schwäche des Rot-Grünsinnes" — eine Herabsetzung der Unterschiedsempfindlichkeit für Helligkeiten wurde in diesem sonst dem HERING-VINTSCHGAUschen ähnlichen Falle nicht beobachtet.

---

[1] SILEX: Über einen Fall von Monochromasie. Sitzungsbericht des internat. Ophthalmologenkongresses. 1899.

[2] WEHRLI: Über hochgradig herabgesetzten Farbensinn. Mitteilungen d. Thurgau. Naturf. Gesellsch. (15).

[3] PIPER: Beobachtungen an einem Fall von totaler Farbenblindheit des Netzhautzentrums in einem und von Violettblindheit des anderen Auges. *Zeitschr. f. Psych. u. Physiol. der Sinnesorgane* **38**. 1905.

Alle diese Fälle gleichen einander in mancher Hinsicht, unterscheiden sich aber in anderen. Der Fall B. reiht sich ihnen an.

Schlufs.

Ich fasse zusammen, dafs sich bei Herrn B. folgendes diagnostizieren liefs:

1. Mangel der Rot- und Grünempfindung — Deuteranopie (Grünblindheit).

2. Herabsetzung der Gelb- und Blauempfindung — Violettschwäche.

3. Herabsetzung der Unterschiedsempfindlichkeit für Helligkeiten.

Ich begnüge mich, im vorstehenden gezeigt zu haben, wie mein Fall von den wenigen, bisher bekannten, hierher gehörigen Fällen von Farbenblindheit abweicht, worin er mit jenen übereinstimmt. Es erscheint mir richtiger, diese Untersuchung und Diagnose zu veröffentlichen, als in eine theoretische Erörterung einzutreten. Nur darauf möchte ich hinweisen, dafs hier möglicherweise, verdeckt durch Komplikation mit Deuteranopie, die dritte Form der anomalen Trichromasie vorliegen könnte, die ich, als theoretisch denkbar, schon früher erwähnt hatte.[1]

[1] Sitz.-Ber. d. 1. internat. Psychol. Kongr. Giefsen 1905.

(Eingegangen am 28. November 1905.)

(Aus dem psychologischen Laboratorium der Universität Krakau.)

Über die Intensitätsänderungen schwacher Geräusche.

Von

W. Heinrich.

Als ich die Tatsache, dafs bei Tönen keine Intensitätsänderungen zu beobachten sind, nachprüfte[1], fand ich, dafs, sobald man einen Ton mit Geräuschen vereinigt, die Unstätigkeit des Eindruckes auftritt. Mit demselben Kroneckerschen Unterbrecher hat man die Kontinuität des Eindruckes beobachtet, wenn der Unterbrecher reinen Klang gab; man beobachtete aber periodische Abschwächungen des Gesamteindruckes, wenn man den Unterbrecher so einstellte, dafs er neben dem Klang auch Geräusche erzeugte. Prof. Dr. N. Cybulski, der damals die Liebenswürdigkeit hatte als Beobachter zu fungieren, formulierte seinen Eindruck folgendermafsen: Es scheint, dafs der Ton stetig bleibt und das Geräusch periodisch verschwindet.

Wir haben in diesem Experiment den Übergang gehabt von Tönen resp. Klängen, bei welchen keine Intensitätsänderungen zu beobachten sind, wie schwach auch der Ton sein mag, und Geräuschen, welche man intermittierend hört, sobald sie schwach genug sind.

Ich konnte damals für diesen Unterschied keine Erklärung finden. Die späteren Beschäftigungen mit der Funktion des Trommelfelles haben mir gezeigt, dafs das Trommelfell äufserst fein auf Geräusche gestimmt ist. Während man bei Tönen Reaktionen des Trommelfelles noch beobachten kann, wenn man die richtige Spannung desselben stark geändert hat, ist man erstaunt zu sehen, wie indifferent das Trommelfell gegen Geräusche ist, bis man zu der richtigen für das Geräusch entsprechenden Spannung kommt.

[1] W. Heinrich: Sur la constance des tons pures à la limite d'audibilité Bulletin de l'académie de Cracovie 1900.

Den Gedanken festhaltend, dafs die Schwankungen der Intensität der Geräusche nur durch die Änderungen in der Funktion des Akkommodationsapparates des Ohres zu erklären sind, glaubte ich jetzt die Möglichkeit einer Erklärung zu sehen. Es würde genügen, wenn man die Annahme machte, dafs der tensor tympani in seinem Erregungszustande pulsatorische Änderungen aufweist. Man würde dann verstehen, warum die daraus resultierenden Änderungen der Spannung des Trommelfelles keine Änderung der Tonstärke, aber eine solche des entsprechenden Geräusches nach sich ziehen.

Neulich hat Herr Hammer[1] die Behauptung aufgestellt, dafs die Stärkeunterschiede der Geräusche objektiv bedingt sind und wo solche objektive Bedingungen fehlen, auch die Intensitätsänderung fehlt. Wäre diese Behauptung richtig, so würde man überhaupt keine Schwierigkeiten mit der Erklärung der Intensitätsänderungen auf dem akustischen Gebiete haben. Leider scheint dies nicht der Fall zu sein.

Um die Behauptung des Herrn Hammer zu prüfen, habe ich folgende Überlegung gemacht. Rühren die Intensitätsschwankungen des Geräusches einer Uhr von der Unregelmäfsigkeit des Baues der Uhr selbst, so ist zu erwarten: 1. Dafs die Periode gleich bleiben wird, da die Umdrehung der Räder sich regelmäfsig wiederholt. 2. Dafs die Periode unabhängig von der beobachtenden Person sein wird.

Ich liefs einige Personen die Unhörbarkeitsperioden derselben Uhr registrieren; die gewonnenen Zahlen lauten:

	Die Zeit der Unhörbarkeit in Sek.	Mittlerer Fehler	Die Zeit der Hörbarkeit in Sek.	Mittlerer Fehler
Herr D.	0,68	0,10	10,53	1,05
Herr M.	0.23	0,11	6,90	2,15
Herr L.	0,31	0,05	7,41	1,32
Herr R.	1,23	0,40	4,64	0,74

Aus diesen Zahlen ergibt sich, dafs beide Voraussetzungen nicht zutreffen. Der Grund der Intensitätsänderungen des Geräusches liegt daher nicht in dem geräuscherzeugenden Prozefs.

[1] *Diese Zeitschrift* **37**.

(Eingegangen am 2. Dezember 1905.)

(Aus dem psychologischen Laboratorium der Universität Krakau.)

Über das periodische Verschwinden kleiner Punkte.

Von

W. Heinrich und L. Chwistek.

1. Die Erscheinung, welche wir untersucht haben, ist den Psychologen seit langem bekannt und die Literatur über dieselbe ist so grofs, dafs es zu weitschweifig wäre über dieselbe berichten zu wollen.[1] Man betrachtete das periodische Verschwinden sehr kleiner, scharf beobachteter Punkte als „Schwankungen der Aufmerksamkeit" und studierte zu wiederholten Malen die Perioden des Erscheinens und des Verschwindens der fixierten Punkte. Schon vor Jahren hat einer von uns (Heinrich) darauf hingewiesen, dafs die Gesamtheit der hier auftretenden Erscheinungen sich ungezwungen erklären läfst, wenn man als Grund derselben die kleinen Schwankungen betrachtet, welche an der Linse des menschlichen Auges bei jeder Einstellung derselben zu beobachten sind.[2] Direkte Versuche zur Bekräftigung dieser Ansicht waren damals nicht unternommen worden.

Bei der Diskussion über die N-Strahlen hat man unlängst von zwei Seiten auf den Zusammenhang der dort beobachteten Erscheinungen mit den Akkommodationsbedingungen des Auges

---

[1] Wir verweisen auf die Literaturangaben bei den Arbeiten von E. Wiersma: Untersuchungen über die sogenannten Aufmerksamkeitsschwankungen. *Diese Zeitschrift* 26 und Hammer: Zur experimentellen Kritik der Theorie der Aufmerksamkeitsschwankungen. *Diese Zeitschrift* 37.

[2] W. Heinrich: Zur Erklärung der Intensitätsschwankungen eben merklicher optischer und akustischer Eindrücke. Anzeiger der Akad. zu Krakau. November 1898.

hingewiesen.[1] Man hat aber dabei die paraxiale Akkommodation und nicht die Schwankungen in der Einstellung der Linse in Betracht gezogen. Beide Erscheinungen unterscheiden sich jedoch in der Wirkung. Fixieren wir einen kleinen schwarzen Punkt auf weifsem Grunde, so kann der Punkt verschwinden, sobald man das Auge abwendet, ohne dafs sich die Einstellung der Linse verändert hat, aus dem Grunde, dafs die Linie des deutlichen Sehens für gegebene Einstellung der Linse sich sehr rasch dem Auge nähert.[2] Der Punkt tritt also aus der Linie des deutlichen Sehens für gegebene Linseneinstellung heraus. Der schwarze Punkt verschwindet aber periodisch auch bei genauer Fixierung. Und diese Erscheinung ist es, für welche wir den experimentellen Nachweis bringen wollen, dafs sie von den Schwankungen abhängig ist, welchen die Linse des Auges bei jeder Einstellung unterliegt. Hier können die Bedingungen des peripheren Sehens nicht in Erwägung gezogen werden, weil der Punkt nur zentral fixiert wird.

2. Um festzustellen, dafs das periodische Verschwinden eines kleinen Punktes von den periodischen kleinen Schwankungen in der Einstellung der Linse abhängig sind, haben wir gleichzeitig die Schwankungen der Krümmung der Linse und das Verschwinden der Punkte notiert. Beide Notierungen geschahen durch Drücken auf einen Gummiballon und wurden durch Vermittlung eines Mareyschen Schreibapparates auf einem Kymographen aufgezeichnet. Die gesamte Anordnung der Versuche war folgende.

Um die Krümmungsänderungen der Linse der untersuchten Person zu beobachten, hat man mit Hilfe zweier Spiegel Z und Z_1 das Licht einer Bogenlampe auf das Auge (O) gerichtet (Fig. 1). Es bildeten sich dann an der vorderen Linsenfläche zwei Bildpunkte der beiden durch die Spiegelung an Z Z_1 entstandenen Punkte, welche man mit einem Ophthalmometer (P) beobachten kann.

Läfst man die beobachtete Person den Punkt fixieren, dessen periodisches Verschwinden untersucht wird, und dreht die Glas-

---

[1] Lummer: Auf der Versammlung der deutschen Naturforscher und Ärzte 1904 und John G. Mc. Kendrick und Walter Colquhoun: *Natur* 69 S. 534.

[2] Stanislaw Loria: Untersuchung über das periphere Sehen. *Diese Zeitschrift* 40.

platten des Ophthalmometers, bis man in dem Instrument die beiden von der vorderen Linsenfläche reflektierten Bildchen als drei Punkte sieht, so offenbart sich jede Krümmungsänderung der Linse dadurch, dafs der mittlere Punkt bei gröfseren Änderungen sich spaltet, bei kleineren breiter wird. Man beobachtet dann ohne weiteres, dafs die Linseneinstellung nicht stabil ist, sondern dafs sie kleinen periodischen Änderungen unterliegt. Diese Änderung konnte mit unserem Instrument durch die Drehung der Platten um höchstens 0,5° kompensiert werden. Es war uns unmöglich die Änderungsrichtung aus den Bewegungen des Punktes zu erkennen.

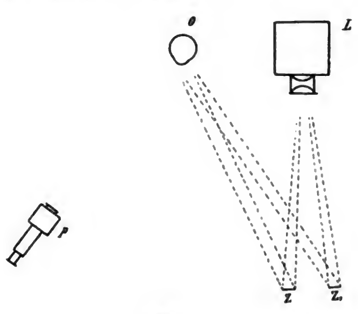


Fig. 1.

Diese periodischen Krümmungsänderungen wurden von dem Beobachter (L. Chwistek) in der oben angegebenen Weise registriert.

Die beobachteten Personen fixierten während der Beobachtung kleine Punkte von 0,1—0,3 mm Gröfse und in einer Entfernung von 70—150 cm. Es waren schwarze Punkte auf weifsem Grunde oder weifse Punkte auf schwarzem Grunde. Als beobachtete Personen fungierten die Herren Sk. und Zacz. Beide mit normaler Refraktion. Aus Gründen, die weiter unten klar werden, hat man dafür zu sorgen, dafs sich die verschwindenden Punkte innerhalb der Akkommodationsbreite befinden und die Anordnung brachte es mit sich, dafs der fixierte Punkt nicht zu nahe am Auge stehen konnte. Es war daher am bequemsten, sich normaler Augen zu bedienen.

Die gewonnenen Resultate lauten:

A. Untersuchung mit Herr Sk.

Gleichzeitigkeit der Notierung der Akkommodationssschwankung und des Verschwindens des Punktes ergab sich

in 776 Fällen.

Einseitige Notierung vom Herr Sk., d. h. notiertes Verschwinden des Punktes ohne entsprechend notierte Akkommodationsschwankung ergab sich

in 38 Fällen.

Einseitige Notierung vom Herr Chwistek, d. h. notierte Akkommodationsänderung ohne entsprechende Aufzeichnung des Verschwindens des Punktes fand man

in 40 Fällen.

B. Untersuchung mit Herr Zacz.

Gleichzeitige Notierungen

in 296 Fällen.

Einseitige Notierung vom Herr Zacz

in 31 Fällen.

Einseitige Notierung vom Herr Chwistek

in 32 Fällen.

Es ergibt sich hieraus:

Die kleinen Schwankungen, welchen die Krümmung der Linse bei jeder ihrer Einstellungen unterliegt und das Verschwinden kleiner Punkte sind synchrone Erscheinungen und müssen als miteinander zusammenhängend betrachtet werden.

3. Man kann dieselbe Tatsache auch als Selbstbeobachtung konstatieren. Macht man in einem Stück Karton mit der Stecknadel zwei kleine Öffnungen in einer Entfernung, die kleiner ist als die Gröfse der Pupille und schaut durch diese Öffnungen auf eine Flamme, indem man den Karton etwa 2 cm von dem Auge hält, so bilden sich die beiden Öffnungen als zwei Zerstreuungskreise auf der Retina ab. Es läfst sich die Entfernung des Kartons derart regeln, dafs sich die beiden Kreise teilweise decken (Fig. 2) oder sich tangieren. Man beobachtet dann, wie die Zerstreuungskreise periodisch kleiner werden, indem sich der den beiden zugehörige Teil (*a*—*b*) periodisch verkleinert, oder indem sich

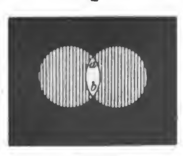


Fig. 2.

zwischen beiden Kreisen periodisch ein dunkler Zwischenraum bildet.

4. Die Erklärung der dargelegten Erscheinungen ist einfach.

Hat man mit den Zerstreuungskreisen zweier als Lichtpunkte zu betrachtenden Öffnungen zu tun, so bewirkt die Änderung in der Wölbung der Linse, dafs sich die Entfernung der Bildpunkte der gegebenen Öffnungen von der Retina ändert. Die Retina schneidet die betreffenden Lichtkegel einmal näher, das andere Mal entfernter von den Bildpunkten, d. h. das eine Mal näher, das andere Mal weiter von der Kegelspitze, woraus die angegebene Erscheinung resultiert.

Bevor wir die Erklärung für das Verschwinden der kleinen Punkte geben, möchten wir vorausschicken, dafs es notwendig ist, zu unterscheiden zwischen dem Verschwinden oder Undeutlichwerden eines dunklen Punktes auf dem hellen Hintergrunde und dem Verschwinden eines leuchtenden Punktes. Wenn auch beides mit den Krümmungsänderungen der Linse im Zusammenhang steht, so wird doch die in Betracht zu ziehende Funktion der Retina in beiden Fällen eine andere sein. Im ersten Falle, wo die Beobachtung beim Tageslicht mit dunklen Punkten auf heller Grundlage gemacht wird, haben wir mit der Funktion der Sehschärfe zu tun, in dem zweiten Falle mit der Funktion der Lichtempfindlichkeit. Die vorliegenden Untersuchungen befassen sich nur mit der ersten Gruppe der Erscheinungen. Über die Untersuchung mit leuchtenden Punkten wird besonders berichtet. — Haben wir als Objekt einen schwarzen Punkt auf weifsem Grunde, so entsteht sein Bild auf der Retina, indem sich die umliegenden hellen Punkte derart auf der Retina abbilden, dafs zwischen ihnen ein dunkler Raum als Abbild des dunklen Punktes entsteht. Ziehen wir zwei solche Punkte in Betracht. Es seien AEB und AFB die Strahlenkegel, welche aus der hinteren Linsenfläche heraustreten (Fig. 3). E und F sind die Bildpunkte

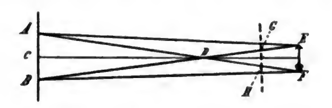


Fig. 3.

zweier den schwarzen Punkt diametral entgegengesetzt begrenzenden Lichtpunkte. Bei genauer Akkommodation fallen E und F auf die Retina; die Strecke EF bleibt dunkel. Ändert sich die Akkommodationsspannung, so tritt EF aus der Retina nach vorn oder nach hinten heraus. Da in beiden Fällen die Erklärung dieselbe bleibt, so nehmen wir an, dafs EF hinter die Retina hinausrückt. Es nehme die Retina in bezug auf den Strahlengang die Lage GH ein. Wird nun in diesem Falle die Gröfse der dunklen Strecke GH kleiner als das Minimum, welches erforderlich ist, um die beiden Strahlenkegel als gesondert wahrzunehmen, so mufs der dunkle Zwischenraum ununterscheidbar werden, d. h. der dunkle Punkt verschwindet. Je gröfser EF, desto gröfser wird der dunkle Kegel EDF sein, desto gröfser mufs dann auch die Änderung der Linsenkrümmung sein, damit der Punkt verschwinden kann.

5. Untersucht man das Verschwinden eines etwas gröfseren Punktes, so findet man, dafs in diesem Falle neben dem gänzlichen Verschwinden auch das Verschwommenwerden des Punktes zu beobachten ist. Daraus ergibt sich, dafs nicht alle pulsatorischen Krümmungsänderungen der Linse ganz gleich sind. Man bekommt Einblick in die hier herrschenden Verhältnisse, wenn man die Perioden des gänzlichen Verschwindens kleinerer und gröfserer Punkte in derselben Entfernung untersucht. Die kleinen Punkte verschwinden bei jeder Krümmungsänderung der Linse, die gröfseren nur bei genügend grofsen Änderungen. Es müssen daher die grofsen Punkte seltener verschwinden als die kleinen. Diese Frage, sowie die weiter folgenden, haben wir mit den Herren Sk., W. D., M. O. untersucht. Herr W. D. hat 4 D. Myopie, Herr M. O. 2,5 D. Myopie. Die Registrierung der Zeiten geschah bei allen folgenden Versuchen mit einem elektrischen Kontaktschlüssel. Die Zeit selbst wurde mit einer 0,2 Sekundenuhr von Jacqet notiert. Die kleineren Zeiten als 0,2 Sek. sind an der Kurve abgeschätzt.

Da die Perioden und die Zeiten der Unsichtbarkeit nicht regelmäfsig sind, so geben wir in den Tabellen überall neben dem mittleren Fehler auch die maximale und minimale Zeit an.

Tabelle I.

Herr Sk. Auge Emmetr.

Entfernung des Punktes in cm	Gröfse des Punktes in mm	Zeiten der Unsichtbarkeit in Sekunden				Zeiten der Sichtbarkeit in Sekunden				Länge der ganzen Periode in Sekunden
		Mittlere Zeit	Mittlerer Fehler	Maximum	Minimum	Mittlere Zeit	Mittlerer Fehler	Maximum	Minimum	
100 cm	0,2	0,12	0,03	0,2	0,11	3,91	1,08	7,95	1,62	4,03
	0,3	0,15	0,01	0,17	0,11	7,21	2,74	11,98	1,76	7,36
126,5 cm	0,3	0,14	0,03	0,20	0,10	2,39	0,60	4,45	1,08	2,53
	0,4	0,13	0,02	0,18	0,09	3,31	0,63	4,50	1,97	3,44
	0,5	0,12	0,01	0,14	0,11	12,22	9,08	28,29	5,2	12,34

Tabelle II.

Herr M. Od. Auge 2,5 D. Myopie.

Entfernung des Punktes in cm	Gröfse des Punktes in mm	Zeiten der Unsichtbarkeit in Sekunden				Zeiten der Sichtbarkeit in Sekunden				Länge der ganzen Periode in Sekunden
		Mittlere Zeit	Mittlerer Fehler	Maximum	Minimum	Mittlere Zeit	Mittlerer Fehler	Maximum	Minimum	
35 cm	0,2	1,03	0,75	2,16	0,2	2,69	1,98	8,39	0,7	3,72
	0,4	1,70	1,52	6,02	0,26	3,04	1,80	6	0,22	4,74
39 cm	0,2	1,26	0,58	2,06	0,58	2,89	2,37	6,72	0,66	4,15
	0,3	0,96	0,52	2,55	0,19	4,32	3,43	15,64	0,86	5,28
	0,5	0,36	0,12	0,6	0,22	11,37	7,79	26,96	4,48	11,73

Tabelle III.

Herr W. D. Auge 4 D. Myopie.

Entfernung des Punktes in cm	Gröfse des Punktes in mm	Zeiten der Unsichtbarkeit in Sekunden				Zeiten der Sichtbarkeit in Sekunden				Länge der ganzen Periode in Sekunden
		Mittlere Zeit	Mittlerer Fehler	Maximum	Minimum	Mittlere Zeit	Mittlerer Fehler	Maximum	Minimum	
15 cm	0,2	2,16	1,29	4,72	0,46	4,23	2,37	7,53	0,45	6,39
	0,3	0,38	0,09	0,44	0,20	24,43	12,09	48,14	0,14	24,81
28,5 cm	1	0,87	0,51	2,32	0,14	2,18	0,92	4,06	0,17	3,05
	1,3	0,48	0.21	0,98	0,16	7,72	3,78	15,84	3,38	8,20
	1,5	0,48	0,37	1,04	0,2	25,60	8,99	35,44	12,22	26,08

Aus den Zahlen der Tabellen I—III ergibt sich:

a) Die Perioden der Krümmungsänderung der Linse und — was damit zusammenhängt — des Verschwindens eines kleinen Punktes sind individuell verschieden und unregelmäfsig. Die gröfste Regelmäfsigkeit zeigt sich beim Herr Sk., wo auch die Zeiten der Unsichtbarkeit sehr klein sind.

b) Die periodischen Krümmungsänderungen der Linse sind nicht gleich, sondern von verschiedener Gröfse. Das ergibt sich daraus, dafs die gröfseren Punkte seltener verschwinden als die kleineren. Aus dem Umstande, dafs es für jede Gröfse der Punkte eine andere Zeit der Periode des Verschwindens gegeben hat, mufs man schliefsen, dafs die Krümmungsänderungen überhaupt verschiedenartig sind. Je gröfser die Änderung, desto seltener tritt sie auf.

c) Man bemerkt ferner, dafs die Zeiten der Unsichtbarkeit desto geringer werden, je gröfser das Objekt ist.

Diese Erscheinung wird klar, wenn man bedenkt, dafs die kleineren Punkte bei kleineren und gröfseren Krümmungsänderungen der Linse verschwinden. Bei den gröfseren Krümmungsänderungen, besonders wenn die Änderung langsam verläuft, mufs die Zeit der Unsichtbarkeit eines kleinen Punktes gröfser werden, dadurch wird auch die Mittelzahl vergröfsert.

6. Befindet sich der Punkt, dessen Verschwinden man beobachtet, innerhalb des Akkommodationsbereiches der Linse, so beobachtet man nur das periodische Verschwinden desselben. Die Verhältnisse sind komplizierter, wenn man den Punkt aufserhalb des Fernpunktes aufstellt, was beim myopischen Auge leicht ausführbar ist. In diesem Falle zeigt sich, dafs der beobachtete Punkt, der jetzt nicht scharf gesehen wird, periodisch verschwindet, aber auch periodisch schärfer gesehen wird. Das läfst sich am besten durch folgendes Experiment illustrieren: Stellt man nicht weit aufserhalb des Fernpunktes des myopischen Auges als Objekt zwei Punkte, die so nahe liegen, dafs sie als ein Fleck gesehen werden, so beobachtet man, dafs die Punkte periodisch auf kurze Zeiten getrennt erscheinen. Da die Punkte aufserhalb des Fernpunktes liegen, so können sie schärfer nur dann gesehen werden, wenn die Linse sich noch mehr abspannt als es bei dem ruhigen Hinschauen in die Ferne der Fall ist.

Die Herren D. und Od. waren beide myopisch. Wir haben mit diesen Herren neben der Registrierung des Verschwindens der Punkte auch die Registrierung des schärfsten Sehens der Punkte aufgenommen. Die Resultate lauten:

Herr D.

Entfernung des Punktes 28,5 cm. Punktgröſse 1 mm.

Mittlere Zeit der schärfsten Sichtbarkeit . . .	0,28	Sek.
Mittlerer Fehler	0,14	„
Maximale Zeit	0,52	„
Minimale Zeit	0,04	„
Mittlere Zeit der weniger scharfen Sichtbarkeit	2,60	„
Mittlerer Fehler	1,14	„
Maximum	4,64	„
Minimum	0,06	„

Herr Od.

Entfernung des Punktes 43 cm. Punktgröſse 0,4 mm.

Mittlere Zeit der schärfsten Sichtbarkeit . . .	0,14	Sek.
Mittlerer Fehler	0,04	„
Maximum	0,05	„
Minimum	0,06	„
Mittlere Gröſse der Zwischenzeit	5,14	„
Mittlerer Fehler	3,64	„
Maximum	10,94	„
Minimum	2,52	„

Vergleicht man diese Zahlen mit den entsprechenden für die Unsichtbarkeitsperioden derselben Punkte, so ergibt sich, daſs die Zeiten der schärferen Sichtbarkeit nur kurz sind im Vergleiche mit den Zeiten der Unsichtbarkeit derselben Punkte.

7. Die Sehschärfe hängt von der Beleuchtungsintensität ab. Je schwächer die Beleuchtung, desto gröſser wird das eben noch erkennbare Objekt sein. Es war von Interesse zu erfahren, wie sich die Unsichtbarkeitsperioden der Punkte gestalten, wenn man verschiedene Intensitäten des Hintergrundes nimmt. Nimmt man nun schwarze Punkte auf Hintergründen von verschieden dunklem grau, so hat man analoge Bedingungen zu denjenigen, wo ein schwarzer Punkt auf weiſsem Grunde bei verschiedener Intensität der Beleuchtung betrachtet wird. Wir

haben zur Untersuchung Punkte von 0,5 mm und 1 mm Gröfse genommen, die auf Hintergründen aufgedruckt waren, deren Grau sich bestimmen läfst als Gemisch von Schwarz und Weifs in folgenden Verhältnissen.

I.	130° Weifs	230° Schwarz
II.	100° „	260° „
III.	70° „	290° „
IV.	55° „	305° „
V.	40° „	320° „
VI.	30° „	330° „
VII.	20° „	340° „
VIII.	15° „	345° „
IX.	10° „	350° „
X.	5° „	355° „

Über die Zeiten der Unsichtbarkeit der Punkte geben nachfolgende Tabellen Auskunft.

Tabelle IV.

Herr Sk. Entfernung der Punkte vom Auge 75 cm.

Punktgröfse	Hintergrund	Zeiten der Unsichtbarkeit in Sekunden				Zeiten der Sichtbarkeit in Sekunden				Länge der ganzen Periode in Sekunden
		Mittlere Zeit	Mittlerer Fehler	Maximum	Minimum	Mittlere Zeit	Mittlerer Fehler	Maximum	Minimum	
0,5 mm	IV	0,18	0,05	0,42	0,15	5,62	0,73	6,76	4,61	5,80
	V	0,14	0,02	0,16	0,11	3,02	0,74	4,95	1.95	3,16
	VI	0,15	0,02	0,17	0,12	2,01	0,20	2,56	1,68	2,16
1 mm	VII	0,17	0,02	0,22	0,15	5,23	1,58	7,76	3,15	5,40
	VIII	0,17	0,01	0,2	0,13	2,93	0,43	4,41	2,16	3,10
	IX	0,15	0,02	0,2	0,1	1,77	0,48	2,21	1,28	1,92

Tabelle V.

Herr Sk. Entfernung des Punktes 100 cm.

Punktgröfse	Hintergrund	Zeiten der Unsichtbarkeit in Sekunden				Zeiten der Sichtbarkeit in Sekunden				Länge der ganzen Periode in Sekunden
		Mittlere Zeit	Mittlerer Fehler	Maximum	Minimum	Mittlere Zeit	Mittlerer Fehler	Maximum	Minimum	
0,5 mm	III	0,28	0,05	0,38	0,24	7,93	0,53	10,75	6,15	8,21
	IV	0,18	0,02	0,22	0,17	3,88	0,65	6,05	2,93	4,06
	V	0,17	0,01	0,19	0,15	3,36	0,49	4,31	2,53	3,53
	VI	0,17	0,02	0,2	0,12	2,04	0,33	2,42	1,56	2,21
1 mm	V	0,22	0,02	0,28	0,2	6,78	1,60	9,58	4,71	7,00
	VI	0,21	0,02	0,26	0,16	4,37	0,53	5,99	3,76	4,58
	VII	0,19	0,02	0,2	0,15	2,91	0,48	4,88	1,9	3,10
	VIII	0,21	0,04	0,23	0,15	2,74	0,43	4,08	1,75	2,95
	IX	0,18	0,02	0,22	0,13	1,53	0,20	2,32	1,60	1,71

Tabelle VI.

Herr Sk. Entfernung des Punktes 126,5 cm.

Punktgröfse	Hintergrund	Zeiten der Unsichtbarkeit in Sekunden				Zeiten der Sichtbarkeit in Sekunden				Länge der ganzen Periode in Sekunden
		Mittlere Zeit	Mittlerer Fehler	Maximum	Minimum	Mittlere Zeit	Mittlerer Fehler	Maximum	Minimum	
0,5 mm	I	0,18	0,02	0,24	0,16	4,36	0,87	6,18	3,4	4,54
	II	0,16	1,02	0,32	0,12	2,06	0,24	2,31	1,5	2,22
1 mm	III	0,22	0,02	0,24	0,18	12,70	1,84	15,36	9,8	12,92
	IV	0,22	0,02	0,26	0,19	4,60	0,69	5,85	3,55	4,88
	V	0,23	0,02	0,30	0,18	2,67	0,27	2,96	2,25	2,90
	VI	0,19	0,04	0,26	0,15	2,00	0,26	3,68	1,54	2,19

Tabelle VII.

Herr M. Od. Entfernung des Punktes 35 cm.

Punktgröfse	Hintergrund	Zeiten der Unsichtbarkeit in Sekunden				Zeiten der Sichtbarkeit in Sekunden				Länge der ganzen Periode in Sekunden
		Mittlere Zeit	Mittlerer Fehler	Maximum	Minimum	Mittlere Zeit	Mittlerer Fehler	Maximum	Minimum	
0,5 mm	III	0,57	0,03	0,63	0,54	6,36	2,63	12,76	3,14	6,93
	IV	0,59	0,15	0,85	0,37	6,56	3,69	13,76	4,03	7,15
	V	0,96	0,23	1,35	0,66	2,82	1,84	2,60	1,00	5,78
1 mm	VIII	0,69	0,11	1,82	0,52	6,08	1,95	7,48	4,48	6,77
	IX	1,00	0,33	1,27	0,23	5,87	3,60	11,24	2,02	6,87
	X	2,08	2,05	6,62	0,17	3,74	1,88	5,23	2,24	5,82

Tabelle VIII.

Herr W. D. Entfernung des Punktes 18 cm.

Punktgröfse	Hintergrund	Zeiten der Unsichtbarkeit in Sekunden				Zeiten der Sichtbarkeit in Sekunden				Länge der ganzen Periode in Sekunden
		Mittlere Zeit	Mittlerer Fehler	Maximum	Minimum	Mittlere Zeit	Mittlerer Fehler	Maximum	Minimum	
0,5 mm	II	0.34	0,14	0,41	0,19	6,02	2,12	12,4	4,07	6,36
	III	0,68	0,53	2,88	0,10	4,10	3,84	15,8	0,55	4,78
	IV	0,93	1,04	5,26	0,05	2,74	2,04	5,77	0,6	3,17
	VI	2,06	0,82	3,22	0,83	2,03	1,18	4,4	0,32	4,09
	VII	1,86	1,55	4,76	0,38	1,27	0,39	2,48	0,33	3,14
1 mm	V	1,02	0,54	1,99	0,54	7,19	4,54	14,5	0,67	8,21
	VI	0,24	0,07	0,3	0,15	5,27	3,73	10,77	1,07	5,51
	VII	1,60	0.86	3.82	0,54	3,19	2,30	4,72	0,65	4,79
	VIII	1,66	1,33	2,37	0,04	2,41	1,41	5,53	0,50	4,07

Vergleicht man die Zeiten der Schwankungsperioden (Unsichtbarkeit + Sichtbarkeit) auf den Tabellen IV—VIII mit den entsprechenden Zeiten der Tabellen I—III, so ergibt sich eine vollkommene Ähnlichkeit des Charakters. Je kleiner dort der Punkt, desto häufiger wird er unsichtbar, desto gröfser im allgemeinen die Zeit der Unsichtbarkeit. Hier: da die Sehschärfe mit der Dunkelheit abnimmt, so mufs die Verdunkelung

des Grundes so wirken, wie die Verkleinerung des Punktes bei unverändertem Hintergrunde. Die Zahlen der Tabellen IV—VIII bestätigen diese Schlufsfolgerung vollkommen. Bleibt der Punkt unverändert und verdunkelt man den Hintergrund, so wird überall die Periode der Schwankung kleiner, d. h. der Punkt verschwindet öfters und die Zeit der Unsichtbarkeit wird gröfser.

8. Die vorliegenden Versuche haben die Beziehung zwischen dem periodischen Verschwinden kleiner Punkte und den Krümmungsänderungen der Linse untersucht, und den Zusammenhang beider Erscheinungsreihen bestätigt gefunden. Wir möchten besonders darauf aufmerksam machen, dafs in dem untersuchten Zusammenhange von einer Ermüdungserscheinung nicht die Rede sein kann.[1] Die pulsatorischen kleinen Krümmungsänderungen

[1] Pace schreibt in den *Philosoph. Studien* 20, S. 243, Jahrg. 1902: Heinrich found that accommodation ceases when the attention is directed towards other than visual impressions. Hence he concludes with Münsterberg, that the fatigue which brings about the fluctuation must be muscular. Diese Auffassung entspricht nicht der Ansicht, welche ich vertrete bei der Erklärung der Schwankungen in der Sichtbarkeit kleiner Punkte, was aus der vorliegenden Arbeit klar sein soll. Wenn daher Pace weiter sagt: The more obvius inference would be that the origin of the fluctuation is central and that the changes in accommodation results from those processes which correspond to the changes in the attention. So wird man diese Ausführung als anwendbar auf die Ermüdungserscheinungen wohl annehmen können und es mufs einer speziellen Entscheidung vorbehalten werden, wo die Ermüdung rascher auftreten kann, in dem Akkommodationsapparat oder im zentralen Nervensystem. Die Ausführungen von Pace geben mir Veranlassung folgende Bemerkung zu machen. Man hat zu verschiedenen Malen meinen Untersuchungen über den Zusammenhang der Funktion der Sinnesorgane und den Aufmerksamkeitserscheinungen den Sinn beigelegt, als ob ich die Gesamtheit der Erscheinungen der Aufmerksamkeit aus der Funktion der Sinnesorgane ableiten wollte. Eine solche Auffassung ist nicht richtig, denn mein Bestreben geht nur darauf hin in dem grofsen Komplex von Erscheinungen, die man mit dem Namen „Aufmerksamkeit" belegt, jeder partiellen Funktion das zuzuschreiben, was sie auch verrichtet, um eben für diese Verrichtungen nicht anderswo nach Gründen zu suchen. Es hat sich z. B. herausgestellt, dafs das Trommelfell ein Akkommodationsorgan ist und die Fähigkeit besitzt bei jedem Spannungszustande nur bestimmte Töne durchzulassen. Diese Funktion erklärt uns, warum wir das eine hören und gleichzeitig das andere überhören, warum wir die einzelnen Töne heraushören können usw. Sie sagt aber gar nichts von dem ganzen Mechanismus, der das Spiel der immer neuen Anpassungen des Trommelfelles bewirkt. Hat man aber die Funktion des Trommelfelles

der Linse sind vom ersten Moment der Fixation vorhanden, und dementsprechend ist auch das periodische Verschwinden der Punkte, sobald diese genügend klein sind, auch vorhanden. Diese Perioden sind im allgemeinen nur von einigen Sekunden.

Sucht man in der Literatur nach Beobachtungen, die unter denselben Bedingungen gemacht worden waren, so sei hier vor allem auf die Arbeit von MARBE[1] hingewiesen. MARBE nahm als Objekt einen Ring von der Breite 0,4 mm und wechselnder Helligkeit und lies den Ring in einem Punkte fixieren. Infolgedessen konnte der Ring gleichzeitig zentral und peripher beobachtet werden. Er fand dabei, dafs 1. die Intermissionen zentral und peripher abwechselnd auftraten; 2. dafs sie peripher noch bei solchen Helligkeitsunterschieden zwischen Ring und Hintergrund auftraten, wo zentral bereits kein Verschwinden zu beobachten war; 3. je gröfser der Helligkeitsunterschied war, auf desto weitere Peripherie waren die Schwankungen beschränkt.

Zieht man nun die Funktion der zentralen und peripheren Akkommodation in Betracht, aus welcher resultiert, dafs, wenn bei derselben Entfernung das Auge zentral eingestellt ist, es paraxial nicht akkommodiert ist und umgekehrt; erwägt man, 2. dafs die Sehschärfe gegen die Peripherie zu immer abnimmt, so ergibt sich die Erklärung der Untersuchungsergebnisse von MARBE ohne weiteres in der ungezwungensten Weise.

9. Der von uns angegebene Zusammenhang trifft nicht ohne weiteres zu, wenn man grofse Objekte wählt, wie es WIERSMA[2] und HAMMER[3] gemacht haben.

Ohne jetzt auf jene Art von Schwankungen, die von den letztgenannten Forschern untersucht waren, näher einzugehen, möchten wir auf die grofsen Perioden hinweisen, die von beiden gefunden wurden. Sieht man noch die Bemerkung, die wir bei HAMMER vorfinden, über die „bald eintretende Ermüdung des Auges, die oft in intensiven Schmerz übergeht, die Unsicherheit des Urteilens und die last but not least die der Versuchsmethode inhärierende grofse geistige Spannung der Versuchsperson",

---

ermittelt, so braucht man nicht für die aus dieser Funktion resultierenden Erscheinungen etwa nach zentraler Ursachen zu suchen. Analoges gilt bei anderen Untersuchungen an. HEINRICH.

[1] *Philosophische Studien* 8.

[2] *Diese Zeitschrift* 26.

[3] *Diese Zeitschrift* 37.

alles Erscheinungen, welche sich bei Versuchen von HAMMER „in vollem Maſse geltend gemacht haben", so wird man nicht fehl gehen, wenn man sagt, daſs HAMMER mit ausgesprochenen Ermüdungsschwankungen zu tun gehabt hat. Mit derselben Erscheinung also, die auftritt, wenn das Kind beim Rechnen z. B. infolge der Ermüdung seine Aufmerksamkeit von der Aufgabe ablenkt, um zu derselben im nächsten Moment wiederzukehren. Diejenige Erscheinung, welche man als „Schwankung der Aufmerksamkeit" bis jetzt bezeichnet hat, ist von solchen Symptomen, wie sie HAMMER schildert, nicht begleitet. Wir haben sie nie beobachtet und auch bei anderen Forschern finden wir Bemerkungen, die sich mit unseren Wahrnehmungen decken. So lesen wir z. B. bei LEHMANN[1], daſs er bei seinen Versuchen, um gerade die Spannung zum Verschwinden zu bringen, die Versuchsperson in „ununterbrochener aber nicht zu anstrengender Tätigkeit erhielt". Um dies zu erreichen, hat LEHMANN die ruhig sitzende Versuchsperson einen schwachen Lichtpunkt beobachten lassen, der subjektiv bald auflodert, bald verschwindet.

HAMMER will das Verschwinden der grauen Ringe durch die „retinale Ermüdung, Totaladaptation, welche den negativen Nachbildern verwandt ist", erklären. „Das Wiederauftauchen des Ringes rührt von Fixationsänderungen her, wodurch verschieden adaptierte Netzhautstellen mit in Spiel kommen. . . . . Doch ist es wohl überdies nicht unmöglich, daſs der Adaptationsprozeſs gleichwie der negativen Nachbilder seiner Natur nach intermittierend ist, wobei also ein zweiter Faktor bei dem Wiederauftreten des grauen Ringes mit der Fixationsabweichung interferieren würde."

Obwohl HAMMER behauptet, daſs diese Erklärung auf Tatsachen beruht, so vermissen wir nichtsdestoweniger den Beweis hierfür. Die Zeiten der Schwankungsperioden sind wohl Tatsachen, welche eben einer Erklärung bedürfen, nicht aber eine Erklärung geben. Wir finden auch keine Andeutung darüber, daſs HAMMER den Zusammenhang der von ihm beobachteten Schwankungen mit der Fixationsänderung des Auges auch tatsächlich experimentell untersucht hat. Seine Ausführungen sind durch keine direkten Beweise bekräftigt.

[1] LEHMANN, Die körperlichen Äuſserungen psychischer Zustände. Erster Teil. Leipzig 1899. S. 137.

(Eingegangen am 2. Dezember 1905.)

(Aus der Königlichen Universitäts-Augenklinik und der physikalischen Abteilung des physiologischen Instituts der Universität Berlin.)

Erworbene Tritanopie (Violettblindheit).

Von

Stabsarzt Dr. Collin und Professor W. A. Nagel
kommandiert zur Augenklinik. in Berlin.

Von der Voraussetzung ausgehend, dafs beim heutigen Stande unseres Wissens über die erworbenen Farbensinnsstörungen die Beschreibung neuer Fälle noch recht wünschenswert ist, sofern sie mit geeigneten Hilfsmitteln untersucht werden konnten, beschreiben wir im folgenden einige Fälle, die bei Verschiedenheiten im einzelnen und bei verschiedener Pathogenese doch auch einige bemerkenswerte gemeinsame Züge aufweisen. Es handelt sich um Fälle der kgl. Universitäts-Augenklinik, deren Veröffentlichung uns von dem Direktor der Klinik, Herrn Geheimrat v. Michel, in dankenswerter Weise gestattet wurde; wir sind ihm für das Interesse, das er unseren Untersuchungen entgegenbrachte, zu besonderem Danke verpflichtet.

Die Umstände, die im allgemeinen die Gewinnung zuverlässiger Untersuchungsergebnisse bei erworbenen Farbensinnsanomalien erschweren, trafen auch bei unseren Fällen mehr oder weniger zu: Der Zustand verändert sich während der Beobachtungszeit, zuweilen von einem zum anderen Tage. Dem Bestreben, an einem Tage möglichst genaue Erhebungen anzustellen, tritt aufser anderen Gründen namentlich die Erwägung entgegen, dafs es sich um Kranke handelt, deren Sehvermögen mit gröfster Schonung behandelt werden mufs, bei denen aber auch nicht selten eine abnorm rasche Ermüdbarkeit erkennbar ist. Ein sonst häufig störender Umstand, die Unlust, sich zu Versuchen herzugeben, machte sich nur bei einem unserer Fälle bemerkbar,

in den beiden anderen wurden wir durch Bereitwilligkeit der Patienten wirksam unterstützt.

Die Untersuchungen unternahmen wir teils in der Augenklinik, teils in der physikalischen Abteilung des physiologischen Instituts.

Fall I: Student N., 23 Jahre alt, hatte bei einer schweren Säbelmensur am 2. Dezember 1905 einen sogenannten „Durchzieher“ erhalten, der in der Mitte des linken Jochbogens ansetzend genau den äufseren Lidwinkel getroffen hatte und von hier durch die Mitte des unteren Lides zur Nase verlaufen war, sämtliche Weichteile bis auf den Knochen durchtrennend, den Jochbogen sogar teilweise zersplitternd; der linke Bulbus hatte keine äufsere Verletzung aufgewiesen. Die Wunde wurde nach Entfernung der Knochensplitter primär genäht und heilte unter dem Verbande, der das linke Auge mit einschlofs, in 14 Tagen glatt zu. Am 16. Dezember, also 14 Tage später, stellte sich Patient in der Augenklinik vor, da er nach Abnahme des Verbandes bemerkt hatte, dafs er auf dem linken Auge verschwommen sähe. Anamnestisch liefs sich noch feststellen, dafs Patient in dem Moment, als der Säbelhieb ihn getroffen, eine deutliche Lichterscheinung, einem „Blitz“ ähnlich, auf dem linken Auge gehabt, im übrigen aber während des ganzen Heilungsverlaufs keinerlei Störungen oder schmerzhafte Empfindungen von seiten dieses Auges verspürt hatte. Die Sehschärfe ist angeblich links ebenso wie rechts vorher vorzüglich gewesen, was Patient als leidenschaftlicher Jäger auf das bestimmteste versichern zu können glaubte.

Bei der äufseren Untersuchung sah man entsprechend dem vorhin beschriebenen Verlauf der Wunde eine rötliche ziemlich feste Narbe, welche an der Stelle der äufseren Lidkommissur eine deutliche Einziehung zeigte und hier mit der Augenhöhlenfläche des Jochbeins zum Teil verwachsen war. Aufser einer mäfsigen Schwellung und Rötung der Conjunctiva sclerae in ihrem temporalen Abschnitt waren äufserlich am linken Bulbus Veränderungen nicht wahrzunehmen, auch war seine Beweglichkeit in keiner Weise beschränkt; beide Pupillen reagierten prompt auf Lichteinfall und Konvergenz. Die Prüfung der Sehschärfe ergab bei beiderseitigem emmetropischen Refraktionszustand auf dem rechten Auge normale Werte, links dagegen eine Herabsetzung auf $^1/_3$ der Norm; rechts wurde Jaeger 1, links Jaeger 2 mühelos gelesen

Störungen des Gesichtsfeldes für weifs liefsen sich ebensowenig links wie rechts nachweisen, trotz wiederholt vorgenommener Untersuchungen daraufhin, deren Resultate bei der Intelligenz des Patienten und seiner ausgezeichneten Beobachtungsgabe hier als durchaus einwandsfrei anzusehen sind.

Ophthalmoskopisch waren die Verhältnisse auf dem rechten Auge völlig normal, links ebenso, was das Aussehen der Pupille und die Kalibrierung der Netzhautgefäfse betraf; dagegen zeigte hier die Gegend der Macula eine deutliche grau-weifsliche Verfärbung, welche die ungefähre Gröfse eines halben Papillendurchmessers besafs und sich ziemlich scharf gegen die übrige umgebende normalaussehende Netzhaut hin abgrenzte. Forderte man den Patienten auf, nach unten aufsen zu blicken und neigte sich beim Ophthalmoskopieren selbst ganz nach links hinüber, so wurden in der äufsersten Peripherie mehrere typische, nebeneinanderliegende Netzhaut-Aderhautrupturen sichtbar, in deren nächster Umgebung die Netzhaut ödematös getrübt erschien und eine umschriebene, fast 1 $^1/_2$ Papillendurchmesser grofse, ovale Blutlache aufwies. An den übrigen Partien des Augenhintergrundes waren Veränderungen nicht zu sehen, der Glaskörper vollkommen klar und durchsichtig und frei von Blutungen. Bei diesem ophthalmoskopischen Befund war die Diagnose eines Aderhaut-Netzhautrisses mit gleichzeitiger Erkrankung der Macula im vorliegenden Fall ohne weiteres gegeben, ätiologisch konnte hierfür nur die vorausgegangene Verletzung bei der Säbelmensur in Frage kommen, und zwar mufste es sich um die direkte Einwirkung einer stumpfen Gewalt auf das Auge gehandelt haben, da eine Frakturierung der knöchernen äufseren Orbitalwand mit etwaiger gleichzeitiger Dislokation nach innen, welche eine Kontusion des Auges indirekt hätte zur Folge haben können, auszuschliefsen war. Es kann also nur die flache Säbelklinge gewesen sein, welche das linke Auge entsprechend der Gegend des äufseren Lidwinkels direkt getroffen hat, höchst wahrscheinlich in dem Augenblick, als der Gegner des Patienten die Klinge nach dem Hieb „abdrehte“. Was die Erkrankung der Macula anbetrifft, so hat hier wohl die Annahme ihrer Entstehung aus einer vorausgegangenen Berlinschen Trübung am meisten für sich und wäre demgemäfs als eine seröse Transsudation des macularen Netzhautgewebes aufzufassen, die sich unabhängig von der Netzhaut-Aderhautruptur ausgebildet hat.

Überaus bemerkenswert war nun das Verhalten des Farbensinns auf dem kranken Auge, das hier wie späterhin natürlich immer getrennt vom gesunden Auge untersucht wurde. Während Patient mit dem kranken Auge die HOLMGRENsche Wollprobe tadellos bestand und die STILLINGschen Tafeln sämtlich mühelos entzifferte, ergab die Untersuchung am Farbengleichungsapparat[1] einige höchst auffallende und konstant wiederkehrende Abweichungen von der Norm, indem ein leuchtendes Gelb für Lila erklärt und ein deutliches Gelbgrün für Blau gehalten wurde, während das gesunde Auge für sich stets richtige Angaben machte. Bezüglich der Farbenbenennung roter und blauer Felder bestand kein Unterschied zwischen dem gesunden und kranken Auge, nur wurde dasselbe Rot vom linken, kranken Auge für eine kräftigere Nuance als vom rechten gehalten.

Die äufseren Gesichtsfeldgrenzen für grün, gelb, rot und blau, welche mit Hilfe eines neuen von Herrn Geheimrat v. MICHEL angegebenen elektrischen Perimeters auf das genaueste geprüft werden konnten, erwiesen sich für beide Augen als durchaus normal, dagegen bezeichnete das kranke Auge von ungefähr 10° an zentralwärts in ganzer Ausdehnung dieses umschriebenen Gesichtsfeldabschnittes gelb als lila und grün als blau.

Bei den nunmehr im physiologischen Institut vorgenommenen weiteren Untersuchungen prüften wir den Patienten zunächst nochmals mit dem Farbengleichungsapparat. Die Sehschärfe reichte aus, um auf 1 $^1/_2$ m beobachten zu lassen.

Rot gab mit keiner der anderen Farben (Grün, Gelb, Blau, Weifs) eine Gleichung, wurde vielmehr immer richtig erkannt und benannt.

Wurde neben Rot Gelb gezeigt, so bezeichnete der Patient dieses als helles Lila. Auf Befragen sagt er, „Lila“ nenne er im Gegensatz zu „Violett“ eine weifsliche Nuance von Violett. Er verglich die gesehene Farbe mit der einer stark verdünnten Lösung von Kaliumpermanganat (aus der Erinnerung; wir zeigten ihm nicht etwa eine solche, er wählte den Vergleich völlig spontan). Beim Betrachten mit dem gesunden Auge nannte der

[1] Beschrieben im Arch. f. Augenheilk, 1898, S. 31—66 und in: W. NAGEL: Die Diagnose der praktisch wichtigen angeborenen Störungen des Farbensinns. Wiesbaden (BERGMANN, 1899).

Der Apparat ist in neuerer Zeit verbessert worden und wird jetzt von Herrn Mechaniker W. OEHMKE, Berlin, Dorotheenstrafse 35, hergestellt.

Patient das gezeigte Licht ohne weiteres gelb und setzte auf Befragen hinzu, dafs er keine Spur von Ähnlichkeit mit Lila finde, Gelb und Lila ihm vielmehr fast diametral entgegengesetzt scheinen. Bei binocularer Betrachtung schien Wettstreit aufzutreten, denn der Patient gab an, bald Gelb bald Lila, bald „beides durcheinander" zu sehen.

Ob neben dem Gelb irgend eine andere Farbe gezeigt wurde, war ohne nennenswerten Einflufs.

Grün (das leicht gelbliche Grün des Apparates) erschien für das kranke Auge blau. Auch nachdem der Patient die Farbe mit dem anderen Auge angesehen hatte (wobei er sie gelblichgrün nannte), konnte er nicht anders sagen, als dafs es ihm blau erscheine. Gleichung mit Gelb, Rot oder Weifs war somit ausgeschlossen. Aber auch mit Blau gab es keine Gleichung. Das Blau des Apparates war dazu zu gesättigt, hatte auch wohl etwas anderen Farbenton, da es rote Strahlen durchläfst.

Die Versuche mit spektralen Lichtern gaben Resultate, die mit den bisher erwähnten gut übereinstimmten. Über das Aussehen des Gelb der Natriumlinie machte der Patient die gleichen Angaben, wie über das Gelb an dem Farbengleichungsapparat. Nötig war dazu freilich, dafs das spektrale Licht unter nicht gröfserem Gesichtswinkel als 1 bis $1\,{}^1/_2{}^\circ$ erschien. War das Feld gröfser, so erschien die Farbe nur im ersten Augenblick lila, nachher war nach Angabe des Patienten das Feld ungleichmäfsig, teils deutlich gelb, teils lila, beide Farben fleckförmig untereinander verteilt. Die weiteren Angaben beziehen sich auf die Feldgröfse $1\,{}^1/_2{}^\circ$.

Bezüglich des spektralen Rot war bemerkenswert, dafs es für beide Augen verschieden aussah, und zwar, wie der Patient mehrfach angab, für das kranke „eine vollere, kräftigere Farbe" war.

Um die Wellenlänge 575 bis 580 lag eine Stelle, wo der Patient das Feld fast weifs sah. Einen fixen, völlig neutralen Punkt zu finden war nicht möglich, die Farbe schlug sehr schnell aus blassem Lila in Grün bzw. Blau um. Mit der Bezeichnung der Lichter von 575—560 war der Patient allerdings sehr unsicher, meistens wufste er sie überhaupt nicht zu benennen; am ersten Tage sprach er vorzugsweise von Blau, am zweiten neigte er schon mehr zur Bezeichnung Grün. An diesem Tage bestimmten wir die Stelle des Spektrums, wo die Farbe für ihn anfing bläulich zu werden: es war bei 560 $\mu\mu$; 545 war die Grenze,

wo die Farbe „deutlich blau" wurde. Nach Betrachtung mit dem gesunden Auge nannte er diese Farbe „Gelbgrün".

Am übernächsten Tage konnten wir wieder einen Versuch machen. Inzwischen hatte sich aber schon die Sehschärfe auf $^1/_2$ gehoben und auch der Farbensinn war verändert. 540 wurde jetzt als deutlich „blaugrün", aber nicht als „blau" bezeichnet. Der Unterschied zwischen den beiden Augen war jedoch immer noch höchst frappant. Das Rot wurde auch jetzt noch mit dem kranken Auge gesättigter gesehen.

Bemerkenswert war das Verhalten gegen spektrales Violett. An dem Tage, an dem wir die Stelle des eben bläulich erscheinenden Lichtes bei 560 $\mu\mu$ bestimmten, bezeichnete der Patient ein für den Normalen schon deutlich violettes Licht (430) als dunkles Blau. Mit dem gesunden Auge sah er es als violett; es war zu bemerken, dafs der Helligkeitswert des Violett für das kranke Auge verringert war, eine eigentliche neutrale Strecke am kurzwelligen Ende des Spektrums konnten wir aber am Farbenmischapparat nicht feststellen.

Dies liegt zweifellos an gewissen Mängeln des Apparates. Das Nernstlicht, mit dem der Helmholtzsche Farbenmischapparat des physiologischen Institutes ausgerüstet ist, gibt das Violett für diese Zwecke zu lichtschwach, namentlich wenn man es durch eingeschaltete Strahlenfilter von diffusem Licht reinigt.

Wir gingen deshalb zu einem anderen Verfahren über, um das Vorkommen neutraler Stellen im Spektrum des Patienten festzustellen. Wir entwarfen mittels einer Bogenlampe ein grofses objektives Spektrum. Wurde dieses im ganzen auf einem weifsen Schirm aufgefangen, so waren zwei Dinge für den Patienten auffällig, sobald er nur mit dem kranken Auge sah: das Rot erschien auffallend kräftig (er sah die äufseren Grenzen des Rot an der gleichen Stelle wie der Normale). Das äufsere Violett, das für den Normalen noch eine lebhafte Farbe besitzt, sah er farblos, grau. Im Gelb war nichts Abnormes zu bemerken.

Wir entfernten nun den grofsen weifsen Schirm, so dafs das Spektrum als Ganzes unsichtbar wurde, und brachten an die Stelle, wo das Spektrum zuvor aufgefangen worden war, ein rundes weifses Papierstückchen, 8 mm im Durchmesser, um das Aussehen der isolierten Spektralfarben für den Patienten prüfen zu können. Hierbei waren die Resultate nun klarer. Brachte der Patient das Scheibchen in die Gegend des reinen Gelb, so

sah er es lila, einige Zentimeter rechts davon im Grüngelb sah er es weifs. Wiederholte Versuche ergaben eine gute Konstanz.

Im Violett sah er das Scheibchen zwar, aber ohne Farbe, grau. Die Grenze der Farbigkeit lag für ihn etwa da, wo der Normale im Zweifel war, ob er die Farbe blau oder violett nennen sollte.

Der Versuch, am Farbenmischapparat durch Gleichungen homogener Farben mit einem Rotgrüngemisch das Vorhandensein eines tritanopischen Systems, das nach dem oben Gesagten zu vermuten war, exakt zu erweisen, mifslang wie wir glauben deshalb, weil er erst an dem Tage unternommen werden konnte, an dem sowohl Sehschärfe wie Farbensinn sich merklich gebessert hatten.

Die Untersuchungen mufsten dann 14 Tage ausgesetzt werden, da der Patient verreiste. Nach seiner Rückkehr fand sich die Sehschärfe auf 1 gestiegen, auch wies die Macula keine pathologischen Veränderungen mehr auf. Im Aussehen der (isoliert gezeigten) Spektralfarben in der langwelligen Spektralhälfte war nichts Ungewöhnliches mehr, auch die Grenze, wo das Grün eben anfing bläulich zu werden, lag jetzt für das kranke Auge an der gleichen Stelle wie für das gesunde Auge (zwischen 510 und 520 $\mu\mu$). Cyanblau (470) erschien dagegen für das kranke Auge etwas grünlichblau (mit dem gesunden reinblau), Violett blau, nur bei längerer Betrachtung mit einem Stich ins Violett.

Liefsen wir Gleichung zwischen einem Cyanblau von 480 $\mu\mu$ und einem Gemisch von Grün (540) und Indigo (etwa 440) einstellen, so ergaben sich deutliche, wenn auch nicht sehr erhebliche Differenzen zwischen den beiden Augen. Das kranke Auge brauchte mehr Indigo in der Mischung als das gesunde. Die für das eine Auge gültige Einstellung galt nicht für das andere, wie in wiederholten Versuchen festgestellt wurde. Zu genaueren Versuchen, wozu erst eine gewisse Einübung des Patienten erforderlich gewesen wäre, fehlte leider die Zeit.

Bei Mischung von Indigoblau aus Blaugrün und Violett war die Differenz zwischen beiden Augen geringer, doch immer noch merklich.

Bemerkenswert ist, was der Patient angab, als ihm in zwei aneinanderstofsenden Feldern (2° Gröfse) Indigoblau und Violett von schätzungsweise gleicher Helligkeit gezeigt wurde. Das Blau erschien für das kranke Auge anfangs grünlich, erst nach einigen

Sekunden blau. Im gesunden Auge fehlte dieser Eindruck des Grünlichen. Das Violett wurde in diesem Falle auch vom kranken Auge richtig erkannt, doch als weit weniger lebhaft bezeichnet als bei Betrachtung mit dem gesunden Auge.

Erwähnt sei schliefslich noch, dafs der Lichtsinn normal war, insofern nach Dunkeladaptation und bei Betrachtung grofser heller Objekte auf dunklem Grunde derselbe Schwellenwert für das rechte und das linke Auge gefunden wurde, und zwar annähernd der gleiche Schwellenwert wie bei uns. An eine Feststellung der generellen (absoluten) Lichtreizschwelle im Netzhautzentrum war bei der grofsen Schwierigkeit solcher Bestimmungen in der kurzen verfügbaren Zeit nicht zu denken.

Fall II. Frau M., 24 Jahre alt, primipara, hatte am 3. 11. 05 in der Universitäts-Frauenklinik wegen beginnender Eklampsie mittels Zange entbunden werden müssen. 14 Tage vorher hatte Patientin bemerkt, dafs sie auf beiden Augen schlechter sehen könne. Da auch nach der Entbindung keine Besserung des Sehvermögens eintrat, suchte sie am 27. 11. 05 die Augenklinik auf. Hier wurde eine Herabsetzung der Sehschärfe auf Fingerzählen in 2 m sowie eine mäfsige Einschränkung der Gesichtsfeldgrenzen auf beiden Augen konstatiert. Die ophthalmoskopische Untersuchung ergab beiderseits das Bestehen einer typischen Neuroretinitis mit unscharfer Begrenzung der Papillen und ödematöser Trübung der Netzhaut; in der Maculagegend waren aufserdem mehrere Degenerationsherde nachweisbar. Der Urin enthielt geringe Mengen von Eiweifs sowie vereinzelte Zylinder und Epithelien. Die Diagnose der vorliegenden Erkrankung konnte unter diesen Umständen keine Schwierigkeiten bereiten; es handelte sich um eine ausgesprochene Neuroretinitis albuminurica, welche auf Grund einer Schwangerschaftsnephritis entstanden war.

Interessant waren die Ergebnisse der Farbensinnprüfung, welche hier für beide Augen die gleichen Resultate ergab. Gegenüber den Holmgrenschen Wollproben verhielt sich die Patientin zunächst fast wie eine Normale, nur war sie nicht ganz sicher in dem Auseinanderhalten von blauen und violetten Bündeln, die sie gelegentlich beide für blau erklärte, trotzdem ihrer Angabe nach diese beiden Farben sich wesentlich voneinander unterscheiden sollten. Am Farbengleichungsapparat dagegen machte sie auffallende Verwechslungen. Gelb neben rot und

bei einer Helligkeit, in der es für den Protanopen mit diesem gleichhell erscheint, nannte sie blau; gelb und grün nebeneinander bei annähernd gleicher Helligkeit bezeichnete sie nur als hell, von einer Farbe sprach sie bei dieser Einstellung überhaupt nicht; auch die Frage, ob nicht eins des Felder vielleicht grün sei, verneinte sie auf das bestimmteste. Scheingleichungen zwischen grün und weifs (grau) und gelb und weifs nahm sie ohne weiteres an, indem sie diese Felder für gleich und zwar für grau erklärte. Bei Einstellung roter und blauer farbiger Felder erwies sich die Patientin als durchaus sicher in ihren Angaben; auch behauptete sie, noch während ihrer Gravidität sämtliche Farben bei ihren Handarbeiten erkannt und deutlich unterschieden zu haben, was uns von ihrem Manne wiederholt bestätigt worden ist.

Am 5. 12. konnten wir die Patientin wieder untersuchen und fanden hierbei, dafs sie Gleichungen zwischen grün und gelb nicht mehr annahm; sie nannte vielmehr jetzt das Grün (das deutlich ins gelbliche geht) neben gelb „blau“ oder „hellblau“, das Gelb dagegen weifs. Grün neben Blau erklärte sie für grau, Zusammenstellungen von grün und weifs und gelb und weifs bezeichnete sie als hellblau bzw. blau und weifs.

Die nächste Untersuchung konnte erst am 29.12. vorgenommen werden und ergab eine wesentliche Besserung sowohl der Sehschärfe (die jetzt auf $^1/_{10}$ gestiegen war) wie des Farbensinns. Die bisherigen Verwechslungen waren kaum noch angedeutet. Der Urin wurde an diesem Tage frei von Eiweifs und geformten Bestandteilen gefunden.

Am Spektralfarben-Mischapparat haben wir die Patientin zu wiederholten Malen untersucht; die ersten Male ergaben sich grofse Schwierigkeiten, weil die Patientin Mühe hatte, das Farbenfeld mit dem Blick zu finden und festzuhalten. Auch beim Betrachten anderer kleiner farbiger Objekte war eine deutliche Unruhe des Blickes vorhanden. Eigentlicher Nystagmus war nicht vorhanden, dagegen bewegte die Patientin die Augen und den Kopf unruhig hin und her, als ob sie an einem Hindernis vorbeiblicken wollte, das sich immer wieder vor die Augen schöbe. Als sich die Sehschärfe später hob, fiel diese Unruhe des Blickes wieder weg. Die Farbenbezeichnungen waren am Spektralapparat die gleichen wie am Farbengleichungsapparat. Ein neutraler Punkt war nicht mit Sicherheit zu finden.

Fall III. Arbeiter K., 22 Jahre alt, suchte am 2. 10. 05 die Augenklinik auf, weil sich sein Sehvermögen in letzter Zeit wesentlich verschlechtert hätte; auch sei er in den vergangenen Wochen von heftigen Kopfschmerzen geplagt worden. Krankheiten von Bedeutung hat Patient angeblich nicht durchgemacht, ebensowenig sind in der Familie nennenswerte Erkrankungen vorgekommen. Die äufsere Augenuntersuchung ergab das Vorhandensein eines alternierenden Strabismus divergens, der nicht sehr erheblich war. Dagegen war die Sehschärfe rechts auf Finger in 3 m, links auf Finger in 4 m herabgesetzt, skiaskopisch wurde auf dem rechten Auge ein myopischer Astigmatismus von 1 Dioptrie mit horizontaler Achse ermittelt, links bestand eine Myopie von ebenfalls einer Dioptrie. Die Gesichtsfeldgrenzen waren beiderseits normal, Skotome für weifs konnten nicht nachgewiesen werden. Ophthalmoskopisch liefs sich auf beiden Augen eine ausgesprochene temporale Abblassung der Papillen konstatieren, deren Grenzen durchaus scharf waren; der übrige Augenhintergrund bot vollkommen normale Verhältnisse. Die Untersuchung der inneren Organe wie des Nervensystems hatte aufser einem geringen Tremor beider Hände nichts Pathologisches ergeben. Der Urin wurde frei von Zucker und Eiweifs befunden. Unter diesen Umständen mufste man sich im vorliegenden Fall mit der ophthalmoskopischen Diagnose einer doppelseitigen partiellen Sehnervenatrophie begnügen, da sich s i c h e r e Anhaltspunkte für die Ätiologie und Natur der nachgewiesenen Sehnervenerkrankung nicht ermitteln liefsen; möglich, dafs es sich um das Frühsymptom einer beginnenden multiplen Sklerose handelte, möglich, dafs auch Patient vor einiger Zeit eine basale Meningitis überstanden hatte, welche das Chiasma mitergriffen und so zur Entwicklung einer sekundären Atrophie der Sehnervenfasern geführt hat; jedenfalls konnten die heftigen Kopfschmerzen, an denen Patient in letzter Zeit gelitten hat, die Annahme eines derartigen vorangegangenen meningitischen Prozesses immerhin rechtfertigen.

Was nun das Ergebnis der Prüfung des Farbensinns anbetrifft, die hier zunächst mit dem Farbengleichungsapparat vorgenommen wurde, so war Patient hierbei nicht imstande, blau und grün, sowie gelb und grün auseinanderzuhalten. Scheingleichungen zwischen diesen beiden Farbenpaaren wurden ohne weiteres angenommen, und bald als grün, bald als blau

bezeichnet; von gelb sprach Patient überhaupt nicht. Rot wurde dagegen stets sicher erkannt, auch bei geringer Helligkeit des farbigen Feldes. Von den neuen NAGELschen Tafeln wurde die Tafel, welche aus gelb- und blaugrünen Punkten zusammengesetzt ist, für einfarbig und zwar für grün erklärt, die übrigen Tafeln wurden sicher unterschieden. Bei der HOLMGRENschen Probe wählte Patient die passenden Bündel im allgemeinen sicher und richtig aus, nur die blauen und violetten Wollbündel konnte er nicht auseinanderhalten; wenn man ihn z. B. aufforderte aus einer Anzahl blauer und violetter Bündel nur die violetten herauszusuchen, so war er unsicher, indem er auch blaue Bündel mit herausnahm.

Da die bisherigen Beobachtungen den Gedanken an ein tritanopisches System nahegelegt hatten, stellten wir einige besondere Versuche zu dem Zwecke an, über das Vorhandensein eines solchen Systems ins klare zu kommen.

Am Farbenkreisel waren unter gewissen Umständen Gleichungen zwischen Grün (dem schwach gelblichen Grün der ROTHEschen Scheiben) und Blau (ROTHEsche Scheiben) zu erhalten. Dem Grün mufste ein wenig Schwarz (10—20°), dem Blau 90° Weifs beigemischt werden. Wenn K. dann den Kreisel aus $1^1/_2$—2 m Abstand betrachtete (Gesichtswinkel der gröfseren Scheiben = 5 bis 6°), gab er Gleichung nach Farbe und Helligkeit an. Unter gröfserem Gesichtswinkel war keine Gleichung zu erzielen. Das betreffende Farbenpaar bildet natürlich für den Normalen und den Deuteranopen durchaus keine Gleichung.

Das meiste Interesse mufsten wiederum Beobachtungen am Farbenmischapparat bieten. Natürlich waren aber die Aussichten, hier etwas wirklich Sicheres zu ermitteln, bei der spärlichen verfügbaren Zeit und der geringen Bereitwilligkeit des Patienten nicht günstig. Immerhin liefs sich einiges mit Bestimmtheit ermitteln, was wir unter Weglassung aller unsicheren Beobachtungen mitteilen wollen.

Am bemerkenswertesten ist das Verhalten gegen homogenes Grüngelb und Violett. Zeigte man dem Patienten im HELMHOLTZschen Farbenmischapparat auf mäfsig grofsem Felde (2—3°) ein Grüngelb etwa von der Wellenlänge 570—575 $\mu\mu$, so war er, der die meisten übrigen Farben prompt benannte, völlig ratlos; er nannte es bald weifs, bald grau, gelegentlich auch gelb. Gelb schien für ihn ein sehr unklarer, unbestimmter Begriff zu sein.

Violett von kleinerer Wellenlänge als 430 $\mu\mu$ hat für K. keine deutliche Farbe mehr. Er sieht das Feld im Apparate noch (schon wegen des nie ganz auszuschliefsenden, zum Teil aus Fluorescenz stammenden fremden Lichtes), aber nicht mehr farbig.

Weisen die eben genannten Beobachtungen mit Bestimmtheit auf Tritanopie hin, so ist dem andererseits entgegenzustellen, dafs spektrale Gleichungen, wie sie für den Tritanopen charakteristisch sind, nicht sicher zu erhalten waren. Insbesondere war der Nachweis nicht zu erbringen, dafs die Strecke vom Blaugrün bis zum kurzwelligen Ende seines Spektrums Endstrecke im Sinne Königs wäre. Befriedigende Gleichungen zwischen Grün bzw. Blaugrün und Blau waren nicht zu erzielen, doch ergab sich aus den Antworten des Patienten, dafs nur wenig an einer völlig befriedigenden Gleichung fehlte. War die Intensität der Lichter grofs, so nannte K. sie oft richtig grün und blau, nur bei geringeren Intensitäten schienen ihm die beiden halbkreisförmigen Felder gleichfarbig, er nannte sie dann beide blau. Ob die Differenz, die zwischen den beiden Feldern noch bestehen blieb, eine Farbenton-, Sättigungs- oder Helligkeitsdifferenz war, konnte bei der wenig geeigneten Versuchsperson leider nicht ermittelt werden, und es war deshalb nicht möglich, die Gleichheitsbedingungen zu finden.

Allgemeine Bemerkungen.

Schlüsse allgemeiner Art können aus diesen Beobachtungen nur mit grofser Zurückhaltung gezogen werden. Es möge nur in Kürze darauf hingewiesen sein, dafs alle drei Fälle nahe Beziehungen zu der durch R. Simon aufgefundenen und von A. König[1] als „Blaublindheit“ beschriebenen Farbensinnsstörung aufweisen; speziell hinsichtlich der Farbenbenennungen ist die Analogie unverkennbar. So wenig brauchbaren Aufschlufs man aus der Befragung von Personen mit angeborener Farbenblindheit über den Namen erhält, den sie dieser oder jener Spektralfarbe geben, so interessant und wertvoll kann das Ergebnis bei Personen sein, die noch kurz zuvor einen normalen Farbensinn hatten, die möglicherweise nur auf dem einen Auge

[1] A. König. Über Blaublindheit. Sitzungsbericht Kgl. Akad. Wissensch. 1897. **34**.

Störungen zeigen und selbst in diesem Auge normale und kranke Netzhautflächen nebeneinander besitzen.

Unser Fall II stellt sich als ein den SIMON-KÖNIGschen Fällen ähnlicher von albuminurischer Retinitis dar, bei dem indessen im Netzhautzentrum typische Tritanopie nicht sicher nachzuweisen war. Es ist nicht auszuschliefsen, dafs solche auf der Höhe des Krankheitsprozesses vorhanden war; teils die Ungeübtheit der Patientin, teils auch der Umstand, dafs das eigentliche foveale Sehen zu jener Zeit schwer geschädigt, möglicherweise ganz aufgehoben war, machte die sichere Diagnose unmöglich.

Wenn wir den Fall trotzdem mitteilen, so geschieht das in erster Linie um zu zeigen, wie sich diese albuminurischen Sehstörungen mittels des Farbengleichungsapparats erkennen lassen, auf den die Patienten in so ganz anderer Weise reagieren als die Personen mit angeborener Rot- oder Grünblindheit. Durch Sammlung weiterer Erfahrungen wird sich zeigen, ob sich die Leistungsfähigkeit des Apparates für die Diagnostik erworbener Farbensinnsstörungen nicht noch steigern läfst, wenn die farbigen Gläser passender gewählt sind, insbesondere das Grün und Blau. Der Zweck des Apparates war ja ursprünglich nur, zur Ermittlung der angeborenen Rotgrünblindheit zu dienen. Wir halten es nicht für ausgeschlossen, dafs man, wenn der Apparat in gröfserem Umfange bei geeigneten Fällen in Anwendung gebracht wird, in ihm ein brauchbares Hilfsmittel zur Diagnose und Differentialdiagnose von Netzhaut- und Sehnervenerkrankungen, namentlich in ihren Anfangsstadien, wird erhalten können.

Am meisten Interesse scheint uns der erste der oben beschriebenen Fälle zu bieten, bei dem man mit grofser Wahrscheinlichkeit sagen kann, dafs durch eine Verletzung durch stumpfe Gewalt, die das Auge in der Äquatorgegend getroffen hat, das Netzhautzentrum für einige Zeit tritanopisch geworden ist. Den völlig strengen Beweis für Tritanopie müssen wir ja auch hier schuldig bleiben, da wir Eichwertkurven (v. KRIES [1]) vom Spektrum nicht erhalten konnten. Aber die Auffindung einer neutralen Stelle im Grüngelb und einer gröfseren neutralen Strecke am kurzwelligen Ende des Spektrums, die Bezeichnung des Natriumlichtes als „lila“ (von den SIMON-KÖNIGschen Patienten sprachen

[1] Siehe Handbuch der Physiologie des Menschen, herausgegeben von W. NAGEL, Braunschweig 1905, 3, S. 119.

mehrere von „rosa"), des Gelbgrün jenseits des neutralen Punktes als bläulich, des Grün der Thalliumlinie als blau und des inneren Violett ebenfalls als blau, — alle diese Umstände sprechen deutlich genug für Violettblindheit im Sinne von Helmholtz, Tritanopie im Sinne von v. Kries.

Auffallend ist die unzweifelhaft vorliegende Beschränkung der Störung auf die Fovea, demnächst auch die relativ geringe Herabsetzung der Sehschärfe. Wir vermuten, daſs durch den heftigen Stoſs, den das Auge erhielt und der in der äuſsersten Peripherie zu Netzhauteinreiſsungen führte, die Netzhaut in der Fovea von ihrer Unterlage gelockert wurde, und das Auftreten der Tritanopie unter diesen Umständen einen interessanten Spezialfall der Simonschen Beobachtung darstellt, nach welcher abgelöste Netzhautpartien, die noch gut lichtempfindlich sind, tritanopisch werden, dagegen wieder normalen Farbensinn erhalten, wenn sie sich nach Punktion wieder anlegen.

Darin, daſs der Patient die ganze kurzwellige Spektralhälfte blau und nicht grün nennt (wie auch manche der Simonschen Patienten), sehen wir kein Hindernis für die Annahme von Tritanopie. Die Tatsache zeigt nur wiederum, wie kompliziert die Beziehungen zwischen den peripheren Erregbarkeitsverhältnissen und der zentralen Gliederung der Empfindungen sind, und wie gewagt es ist, von dieser auf jene oder umgekehrt zu schlieſsen.

Stellt man sich auf den Standpunkt, die Farbensinnsstörung der beschriebenen Art als Tritanopie, also als typisch dichromatisches System aufzufassen, so muſs es natürlich eine Frage vom gröſsten Interesse sein, die Erscheinungen des Abklingens der Störung und der Wiederkehr normalen Farbensinns zu verfolgen.

Bei unseren Fällen I und II äuſserte sich diese Restitution in Wiederkehr der Gelbempfindung und (allerdings nur bei I) in einer starken Verschiebung der Grenze des „Bläulichen" von der farblosen Stelle bei 570 bis etwa 510, zugleich auch in einer allmählichen Wiederkehr der Violettempfindung.

Die auffälligste Erscheinung war für uns die in Fall I zwischen beiden Augen bestehende Differenz der Blaumischung aus Grün und Violett. Sie, wie manche andere Erscheinungen legen den Gedanken nahe, daſs die noch nicht oder nicht mehr ganz vollständige Tritanopie sich zur wahren typischen Tritanopie ver-

halten möchte, wie etwa das Farbensystem des Rotanomalen zu dem des Protanopen, dafs also mit anderen Worten zwischen das normale trichromatische und das tritanopische System sich ein „violettanomales“ einschöbe. Ob das tatsächlich der Fall ist und wie sich ein solches System des genaueren darstellen würde, darüber kann zurzeit natürlich noch nichts Sicheres ausgesagt werden. Dafs die rot- bzw. grünanomalen Systeme, soviel man weifs, nur angeboren und bleibend vorkommen, für das violett-anomale aber erworbenes und vorübergehendes Vorkommen angenommen werden müfste, kann nicht mehr befremden, seitdem man Violettblindheit als nicht selten erworbene, Rot- und Grünblindheit als stets angeborene Anomalie kennt. An das Verhalten anomaler Trichromaten erinnert übrigens auch der gesteigerte Kontrast, der sich, wie oben erwähnt, im Grünerscheinen von Blau neben Violett äufsert.

Am wenigsten klar ist unser Fall III, bei dem auch unsere Untersuchungen wegen der Unlust des Patienten am meisten eingeschränkt werden mufsten. Manches weist ja auf Tritanopie hin, die angeboren oder erworben sein könnte. Doch ist das Bild zu unklar, um Bestimmteres zu sagen, und wir halten das Vorhandensein typischer Violettblindheit für nicht wahrscheinlich.

Das Verhalten gegenüber den farbigen Lichtern des Farbengleichungsapparates erinnerte sehr an dasjenige des Mädchens in der Rostocker Klinik [1], über dessen Farbensinnsstörung der eine von uns kürzlich berichtet hat. Auch diese Patientin nahm Gleichungen zwischen Grün, Weifs und Gelb an, nicht dagegen zwischen Blau und Grün. Vielleicht ist das nur ein gradueller Unterschied; der Rostocker Fall war ein sehr leichter, schnell vorübergehender. In beiden Fällen trat die Neuritis optica isoliert und aus unbekannter Ursache auf.

---

[1] W. Nagel: Einige Beobachtungen über die Farbensinnsstörung im Netzhautzentrum bei retrobulbärer Neuritis. *Klin. Monatsbl. f. Augenheilk.* **43**, 1905, S. 742.

(Eingegangen am 7. Januar 1906.)

(Aus dem physiologischen Institut zu Freiburg i. B.)

Über Minimalfeldhelligkeiten.

Von

cand. med. RICHARD SIEBECK.

Die Helligkeitsvergleichung verschiedenfarbiger Lichter ist eine Aufgabe, die nicht nur mit sehr verschiedenen technischen Hilfsmitteln in Angriff genommen, sondern insbesondere auch hinsichtlich ihres Sinnes verschieden aufgefafst werden kann. Einerseits kann davon ausgegangen werden, dafs optische Empfindungen, die in bezug auf ihre Farbe verschieden sind, doch hinsichtlich der Helligkeit in gewisser Weise vergleichbar erscheinen. Die auf dieser Grundlage beruhenden Untersuchungen sind mit einer Reihe von Bedenken und Schwierigkeiten theoretisch-psychologischer Natur behaftet, auf die hier nicht eingegangen werden soll. Wesentlich einfacher ist die andere Klasse von Beobachtungen, die darauf ausgeht, die Helligkeiten verschiedenartiger Lichter dann zu vergleichen, wenn zufolge irgendwelcher besonderer physiologischer Verhältnisse die Farbenempfindung ausgefallen ist, die Lichter also durchweg farblos gesehen werden. Da hier die Verschiedenfarbigkeit im subjektiven Sinne gar nicht vorhanden ist, so ist auch die Helligkeitsvergleichung durchaus einwandsfrei. Werden unter irgendwelchen Bedingungen alle (auch reine spektrale) Lichter farblos gesehen, so charakterisiert sich die hier gegebene Funktionsweise des Sehorgans durch eine bestimmte Abhängigkeit der Helligkeit von der Wellenlänge oder eine bestimmte Helligkeitsverteilung in einem Spektrum. Es versteht sich dabei keineswegs von selbst, dafs diese bei allen zu einem Ausfall der Farben führenden Bedingungen die nämliche sein mufs. Für das normale Sehorgan sind bis jetzt zwei Arten solchen Sehens und die ihnen ent-

sprechende Helligkeitsverteilung untersucht worden, nämlich das Sehen des dunkeladaptierten Auges bei geringen Lichtstärken (Dämmerungssehen) und dasjenige, das der äufsersten Peripherie des nasalen Gesichtsfeldes (in helladaptiertem Zustande) zukommt. Die Tatsache, dafs die Helligkeitsverhältnisse in diesen beiden Fällen durchaus verschiedene sind, die Dämmerungswerte eine ganz andere Verteilung im Spektrum aufweisen als die Peripheriewerte, hat bekanntlich eine erhebliche theoretische Bedeutung gewonnen. Allgemein kann man wohl sagen, dafs die Untersuchung weiterer Fälle ähnlicher Art von Interesse sein wird. Ich folgte daher gern dem Vorschlag von Herrn Professor v. Kries, das Sehen unter gewissen Bedingungen zu untersuchen, bei denen, wie sich vermuten liefs, gleichfalls ein Ausfallen der Farbenempfindung jedoch auf wiederum andere Art zu erzielen sein konnte. Es handelt sich hier um die Beobachtung von farbigen Feldern sehr geringer Ausdehnung. Aus den Beobachtungen von Donders, Wittich u. a. ist bekannt, dafs farbige Objekte, wenn sie unter sehr kleinem Gesichtswinkel gesehen werden, keine Farbe mehr erkennen lassen, sondern je nach der Helligkeit des umgebenden Grundes als helle oder dunkle Flecke wahrgenommen werden. Hiernach ist zu erwarten, und der Versuch bestätigt es leicht, dafs für ein solches sehr kleines farbiges Objekt auch immer eine gewisse (farblose) Helligkeit der Umgebung gefunden werden kann, bei der es weder als heller noch als dunkler Punkt gesehen, sondern ganz unsichtbar wird. Wir können diese als diejenige Helligkeit betrachten, die dem farbigen Objekte selbst zukommt, wenn die Farbe durch die Reduktion der Feldgröfse zum Verschwinden gebracht wird. Sie mag, um, analog den Bezeichnungen der Dämmerungs- und Peripheriewerte, eine von keiner theoretischen Deutung ausgehende, rein empirische Bezeichnung zu haben, als die Minimalfeldhelligkeit des betr. farbigen Lichtes bezeichnet werden.[1]

Um die Abhängigkeit der Minimalfeldhelligkeiten von der Wellenlänge oder ihre Verteilung in einem bestimmten Spektrum kennen zu lernen, konnte ein Verfahren eingeschlagen werden,

[1] Die Benutzung sehr kleiner Felder zur Helligkeitsvergleichung verschiedenfarbiger Lichter ist ähnlich, wenn auch von etwas anderen theoretischen Gesichtspunkten ausgehend, schon von Brücke vorgeschlagen worden.

das sich dem von v. KRIES zur Bestimmung der Peripheriewerte angewendeten durchaus anschlofs. Da die Anordnung sich von der früheren in einigen technischen Beziehungen unterschied, so erläutere ich meine Versuchsanordnung noch kurz an der Hand der nachstehenden Skizze.

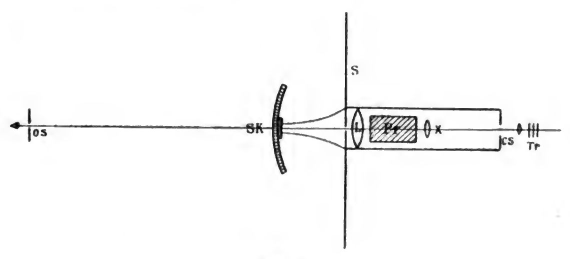


Fig. 1.
Schema der Versuchsanordnung. Erklärung im Text.

Der Spalt des Kollimatorrohres (*CS*) wurde durch den Triplexbrenner (*Tr*) beleuchtet, an Stelle dessen allerdings bei der Untersuchung kurzwelliger Lichter in später zu erörternder Weise ein Auerbrenner treten mufste. Durch die Objektivlinse (*L*) vor dem geradsichtigen Glasprisma (*Pr*) wurde in 1 m Entfernung, wo sich ein 1,3 mm breiter Okularspalt (*OS*) befand, ein reelles, etwa 9 cm langes Spektrum entworfen. Vor der Objektivlinse war eine zur Abblendung auf der Rückseite mit Stanniol überzogene, weifse Kartonscheibe (*S*) angebracht und derart mit dem Apparat verbunden, dafs nirgends fremdes Licht eindringen konnte. In die Mitte dieser Scheibe war mit einer Nadel ein rundes Loch, dessen Durchmesser 0,6 mm betrug, gestofsen.

Auf diese Weise sah der Beobachter durch den Okularspalt auf dem weifsen Grunde der Scheibe einen kleinen farbigen Fleck. Seine Helligkeit wurde reguliert durch Variierung des Kollimatorspaltes, an dessen Schraube eine in 100 Teilstriche geteilte Scheibe angebracht war und der bei einer Umdrehung 1 mm weit war. Die Regulierung erfolgte vom Beobachter aus mittels Schnurlaufs. Durch Verschiebung des Spektrums, die bei feststehendem Okularspalte durch Drehung des ganzen Beleuchtungsapparates erreicht und durch Ablesung der Skala (*Sk*)

zahlenmäfsig bestimmt wurde, konnte der Fleck mit verschiedenfarbigem homogenem Lichte erleuchtet werden.

Um die Wellenlängen der benutzten Lichter zu kennen. mufste man den Apparat eichen. Der Kollimatorspalt wurde abwechselnd mit Natrium-, Lithium-, Thallium- und Strontiumlicht beleuchtet und bei Einstellung der betreffenden Linien die Skala abgelesen. Wurde für die Natriumlinie ($\lambda = 589,3\ \mu\mu$) der Nullpunkt der Skala angenommen, so befand sich die Lithiumlinie ($\lambda = 670,8\ \mu\mu$) bei $-$ 2,3, die Thalliumlinie ($\lambda = 534,9\ \mu\mu$) bei $+$ 2,4, die Strontium-(δ)-linie ($\lambda = 460,7\ \mu\mu$) bei $+$ 8. Aus den so gewonnenen Zahlen konnte nach der Cauchyschen Interpolationsformel die ganze Skala bestimmt werden.

Erst die Versuche selbst konnten ergeben, ob es gelingt, der das spektrale Licht durchlassenden Öffnung solche Dimensionen zu geben, dafs ein Ausfall der Farbenempfindungen für genau zentrale Fixation oder für kleine Fovealabstände (parazentrale Beobachtung) erzielt wird; ferner auch, ob bei einer für das Verschwinden der Farbe erforderlichen Reduzierung der Feldgröfsen noch eine für unsere Zwecke hinreichend genaue Vergleichung der Helligkeiten stattfinden kann, ob also Beobachtungen der beabsichtigten Art überhaupt möglich sind.

Die ersten orientierenden Versuche lehrten sogleich, dafs dies für wirkliche Fixation nicht der Fall ist. Wie sich nämlich von selbst versteht, darf mit der Gröfse des farbigen Feldes nicht unter einen gewissen Betrag herunter gegangen werden, da bei noch weiterer Verkleinerung aus dioptrischen Gründen Unsicherheiten und Fehlerquellen in das Verfahren hineinkommen würden. Bei einer Feldgröfse von ca. 2′, deren weitere Verminderung aus diesem Grunde nicht ratsam erschien, übrigens auch auf technische Schwierigkeiten gestofsen wäre, verschwinden nun die Farben bei zentraler Fixation noch keineswegs und Einstellungen der beabsichtigten Art sind also unmöglich. Dagegen zeigte sich auch sogleich, dafs schon bei sehr geringen Exzentrizitäten der Farbensinn so weit hinter dem höchsten zentralen zurückbleibt, dafs die gewünschte Erscheinung bei passenden und noch zulässigen Feldgröfsen erreicht werden kann. Auch zeigte sich, dafs hier das Verschwinden des Flecks bei einer bestimmten und mit genügender Schärfe einzustellenden Helligkeit stattfindet, somit eine Ermittlung der Minimalfeldhelligkeit in der Tat ohne Schwierigkeit und recht genau ausführbar ist.

Die Wahl der Feldgröfse ist natürlich in gewissen Grenzen willkürlich, doch mufs, je gröfser man das Feld nimmt, um so gröfser auch die Exzentrizität der Beobachtung genommen werden. Ich entschied mich nach einigen Vorversuchen für eine Feldgröfse von 2',1 (0,6 mm aus einer Entfernung von 1 m gesehen) und einen Zentralabstand[1] von 1°,5. Bei dieser Art des Verfahrens gelingen die Einstellungen fast genau in derselben Weise, wie sie bei gröfseren Feldern in den stark exzentrischen Teilen sich ausführen lassen. Man sieht wenigstens bei den meisten Lichtern den kleinen Fleck bei einer bestimmten Spaltweite verschwinden; wird der Spalt um ein geringes enger gemacht, so erscheint der Fleck als ein (farblos) dunkler auf dem helleren Grunde. Wird andererseits der Spalt über jenen Punkt erweitert, so erscheint der Fleck hell; in diesem Falle wird dann allerdings in der Regel alsbald auch die Farbendifferenz bemerklich.[2]

Hinsichtlich der Ausführung der Versuche ist noch zu erwähnen, dafs die weifse Scheibe, die mit dem spektralen Fleck auszugleichen war, stets von diffusem Tageslichte beleuchtet wurde. Da natürlich auch bei der Beschränkung auf günstige Lichtverhältnisse eine vollständige Konstanz dieser Beleuchtung niemals angenommen werden konnte, so mufste auch hier so verfahren werden, dafs die Bestimmung jedes einzelnen Lichtes zwischen zwei Bestimmungen des Na-Lichtes eingeschaltet wurde; bei genügender Übereinstimmung der vorausgehenden und der nachfolgenden Werte für Na-Licht ergab sich dann ein brauchbarer Wert für das Helligkeitsverhältnis des in der Zwischenzeit

---

[1] Eine genaue Fixation war für die Zwecke der Versuche nicht erforderlich, würde dieselben im Gegenteil sehr beeinträchtigt haben; vielmehr kam es nur darauf an, dafs das Objekt dauernd in gleichem Zentralabstand gesehen wurde. Aus diesem Grunde wurde nicht eine punktförmige Fixationsmarke benutzt, sondern eine kurze Linie, deren Richtung senkrecht gegen die Verbindung ihrer Mitte mit dem Objektpunkt zu wählen war. Meist lag die Fixationslinie u n t e r dem kleinen Farbenfelde und hatte demgemäfs horizontale Richtung.

[2] In einigen Fällen habe ich ein ganz vollkommenes Verschwinden des Flecks allerdings nicht erzielen können, doch war auch hier das Dunkler- und Hellererscheinen bei geringen Änderungen des Spalts mit solcher Schärfe wahrnehmbar, dafs die Einstellungen mit grofser Genauigkeit möglich waren und eine Verkleinerung der Felder oder Vergröfserung der Exzentrizität mir nicht ratsam erschien.

bestimmten zum Na-Lichte. Jede solche Bestimmung bestand dabei aus drei einzelnen Einstellungen.

Da die meisten physiologischen Ermittlungen der hier in Betracht kommenden Art sich auf gewöhnliches Gaslicht (Triplexbrenner) beziehen und dies von allen überhaupt brauchbaren Lichtarten wohl auch das konstanteste und am besten definierte ist, so habe ich auch für meine Versuche dies in erster Linie verwendet. Die Resultate dieser Beobachtungen enthält die folgende ohne weitere Erläuterung verständliche Tabelle.

Tabelle I. Helligkeitswerte.

I. Versuche bei Triplexbeleuchtung.

Spektral. Ort u. Wellenlänge des homogenen Lichtes		I. 3. V. 1904	II. 4. V.	III. 6. V.	IV. 9. V.	V. 11. V.	VI. 14. V.	VII. 16. V.	VIII. 17. V.	Durchschnittswerte
−2	658,0 $\mu\mu$	51,6		45,2		27,9		43,6	56,4	44,9
1,8	650,1 „	68,6		49,5		45,5		60,9	58,9	56,7
1,6	642,4 „	64,9		72,3		53,7		72,8	69,1	66,6
1,4	635,0 „	68,3		72,1		67,8		79	73,4	72,1
1,2	627,8 „	82,7		80,9		82,1		86,5	88,7	84,2
1	620,8 „	85,2	81,8	84,7	91,5	92,1		99,1	105,8	91,5
0,8	614,2 „	90,3	117,9	101,9	109,7	94,2		106,8	109,1	104,3
0,6	607,6 „	71,9	119,9	129,2	112,5	103,3		122,7	129,8	112,8
0,4	601,3 „	124,4	108	145,6	135,6	117,5		125,2	139,6	128
0,2	595,2 „	102,9	104,5	122,2	116,3	112,3		105,8	112,5	110,9
Na 0	589,3 „	100	100	100	100	100	100	100	100	100
+0,2	584,2 „		86,7	96,9	101,2	85,5	84,6	85	90,1	90
0,4	579,1 „		67,4	83,7	94,5	85,1	72,8	82,3	85,6	81,6
0,6	574,1 „		79,4	81,5	83,1	79,2	72	78,4	82,8	79,5
0,8	569,3 „		67,9	63,9	79,4	70,8	73,9	75,5	78,6	72,9
1	564,8 „		62,3	64,4	71,5	69,5	69,1	71,7	71,7	68,6
1,2	560,1 „		59,7			58,2	68,6	66,6	60	62,6
1,4	556,4 „		54			57,7	63,7	60,3	56,9	58,5
1,6	551,4 „		42,9			53,2	55,5	54,5	54	52
1,8	547,2 „		39,3			52,2	49,4	48,8	46,9	47,3
+2	542,9 „		31,5			50,2	42,3	46	44	42,8

Eine Ausdehnung der Versuche auf kleinere Wellenlängen stiefs auf Schwierigkeiten, weil die Helligkeit im Triplexspektrum zu gering wird. Um meine Bestimmungen noch etwas weiter erstrecken zu können, habe ich mich des Auerlichtes bedient. Natürlich waren es nicht die Helligkeiten im Spektrum des Auerlichtes, die endgültig interessierten; vielmehr sollten diese nur als

Hilfsmittel dienen, um die Werte im Triplexspektrum zu ermitteln. Hierzu gelangte ich, indem ich die Bestimmung der Minimalfeldhelligkeiten für Lichter bis 460,7 $\mu\mu$ im Auerspektrum ausführte, aufserdem aber in direkter Weise die Intensitätsverteilung von Triplex- und Auerspektrum verglich. So konnten die Minimalfeldhelligkeiten für das Triplexspektrum in noch etwas gröfserer Ausdehnung (bis 460,7 $\mu\mu$) erhalten werden, die als indirekte oder berechnete bezeichnet werden können. Die so für eine Anzahl kleinerer Wellenlängen erhaltenen Werte zeigt Tabelle II.

Tabelle II.

Minimalfeldhelligkeiten im prismatischen Spektrum des Triplexlichtes (mit Benutzung des Auerlichtes berechnete Werte).

Spektral. Ort und Wellenlänge des homogenen Lichtes		mit Auerbrenner				
		I.	II.	III.	IV.	D.
+ 2	542,9 $\mu\mu$	33,7	37,4	36,1	34,9	35,5
+ 3	525,6 „	18,2	18	19,5		18,6
+ 4	510,6 „	9,9	10	8,8		9,6
+ 5	496,7 „	3,5	3,9			3,7
+ 6	483,7 „	1,8	1,9			1,8
+ 8	460,7 „	0,4	0,46			0,4

Ich darf indessen nicht verschweigen, dafs diese umgerechneten Werte bei den Lichtern 538,4, 526 und 511 $\mu\mu$, bei denen ich auch noch direkte Bestimmungen ausführen konnte, mit den direkt erhaltenen Werten nicht sehr gut übereinstimmen (hier wurden für die genannten 3 Lichter durchschnittlich die Werte 42,8, 24,7 und 13,9 gefunden). Ob hier die direkte Bestimmung wegen der grofsen Spaltweiten unsicher wurde oder ob durch die Vergleichungen von Triplex- und Auerlicht eine Fehlerquelle sich eingeschlichen hat, vermag ich nicht zu sagen. Jedenfalls sind die Werte für Wellenlängen unter 538 $\mu\mu$ weniger zuverlässig als die für die länger-welligen Lichter.

Als wesentliches Ergebnis meiner Beobachtungen kann der einfache Satz aufgestellt werden, dafs die Minimalfeldhelligkeiten für parazentrale Netzhautstellen mit gröfster Annäherung die gleiche Verteilung im Spektrum zeigen wie die Peripheriewerte (Maximum etwa bei 605 $\mu\mu$) also ebenso wie diese sich von den Dämmerungswerten durchaus verschieden verhalten. Wie bekannt

zeigen auch die Flimmerwerte und die Rotwerte der Deuteranopen eine ähnliche Abhängigkeit von der Wellenlänge. Ich habe, um diese Verhältnisse hervortreten zu lassen, in Fig. 2 die Peripheriewerte nach v. Kries, meine Minimalfeldhelligkeiten, die Flimmerwerte nach Polimanti, endlich die Rotwerte der Deuteranopen in der üblichen Weise zusammengezeichnet. Man sieht leicht, daſs alle 4 Kurven einen mindestens sehr ähnlichen Verlauf zeigen.

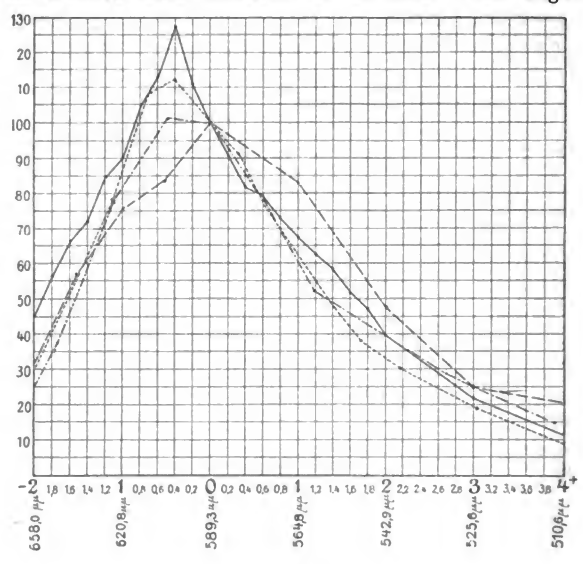


Fig. 2.

——————— Minimalfeld-Helligkeiten; — · — · — · — Peripheriewerte;
················· Rotwerte des Deuteranopen; — — — — — Flimmerwerte.

Ob die Abweichungen nur auf der Unsicherheit der Beobachtungen beruhen und realiter alle 4 als identisch zu betrachten sind, oder ob den Unterschieden des Verlaufs doch eine reale Bedeutung zukommt, möchte ich übrigens ausdrücklich dahingestellt lassen.

Eine weitere Verfolgung der gestellten Aufgabe habe ich zunächst in der Richtung versucht, daſs ich prüfte, ob die gewählten

Bedingungen ausreichten, um die Bestimmungen von den bei den Peripheriewerten so störenden Einmischungen der Adaptation unabhängig zu machen. Dabei mufs ich betonen, dafs es mir nicht darum zu tun war, festzustellen, ob meine Werte vom Adaptationszustand absolut unabhängig wären, was von vornherein bei einer Exzentrizität von 1°,5 nicht für wahrscheinlich gelten konnte, sondern nur, ob die mäfsigen Zustandsänderungen, die bei solchen Versuchen unvermeidlich sind, schon einen bemerkbaren Einflufs auf die Ergebnisse besitzen oder ob die Werte, wie man sie unter praktisch gut realisierbaren Bedingungen erhält, als feste und zwar einer maximalen Helladaptation entsprechende genommen werden dürfen. Dieses wird man, wie mir scheint, anzunehmen berechtigt sein, wenn sich herausstellt, dafs selbst eine vollständige Verdunkelung der Augen während einiger Minuten die Resultate noch nicht bemerkbar modifiziert.

Dieser Erwägung folgend habe ich eine Anzahl von Versuchen so angestellt, dafs die oben geschilderten Einstellungen für ein und dasselbe spektrale Licht in zahlreicher Wiederholung ausgeführt wurden und zwar 3 Einstellungen bei voller Helladaption, dann 3 nach einer 5 Minuten dauernden Verdunkelung der Augen, dann wieder 3 nach voller Helladaptation usw. Die Versuche ergaben, dafs die Unterschiede durchaus in den Fehlergrenzen blieben; durchschnittlich lagen für dasselbe Licht bald die bei Helladaptation, bald die bei der erwähnten beginnenden Dunkeladaptation erhaltenen Werte höher. Man wird hiernach berechtigt sein, anzunehmen, dafs, wenn man im hellen Zimmer beobachtet und im übrigen keine besonderen Vorsichtsmafsregeln trifft, in der Tat feste Werte erhalten werden, die man als einer maximalen Helladaptation entsprechend und durch die Einmischung der Dämmerungsorgane nicht nennenswert beeinflufst ansehen darf.

Ein weiterer Punkt, den ich zum Gegenstand der Untersuchung machte, war sodann der, ob sich die Helligkeitsverhältnisse durch F a r b e n u m s t i m m u n g modifizieren lassen. Ein Eingehen auf die dieser Frage zukommende theoretische Bedeutung darf an dieser Stelle unterbleiben. Da die Entstehung der farblosen Helligkeitsempfindung zur Zeit jedenfalls noch nicht endgültig aufgeklärt ist, so wird jede Vermehrung unseres rein empirischen Wissens in dieser Beziehung von Nutzen und eine Vervollständigung desselben vielleicht am besten zunächst ganz ohne bestimmten theoretischen Gesichtspunkt anzustreben sein.

Zum Zwecke solcher Beobachtungen stellte ich seitlich neben der oben beschriebenen Versuchseinrichtung ein farbiges Feld auf (ein farbiges Papierstück, meist von gegenfarbigem Grunde umgeben, oder auch eine mit farbigem Glase bedeckte, von einem Auerbrenner erleuchtete Mattglasscheibe).

Ein passender Punkt des so erhaltenen farbigen Feldes wurde nun einige Zeit (meist 30 Sek.) fixiert und unmittelbar danach die Helligkeitsbestimmungen ausgeführt, wobei nun der die kleine Öffnung umgebende Grund samt dieser selbst lebhaft komplementär zu der vorher betrachteten (umstimmenden) Farbe erschien. Versuche dieser Art habe ich mit rotem und blauem Licht als umstimmendem ausgeführt. Das Gesamtergebnis derselben kann ich dahin zusammenfassen, dafs sich in den meisten Fällen Änderungen der Helligkeitsverhältnisse, die die Grenze der Beobachtungsfehler überstiegen, nicht konstatieren liefsen. In einigen Fällen schienen sich zwar Modifikationen zu ergeben; doch waren auch diese so geringfügig und regellos, dafs ich auf sie kein Gewicht legen kann und von ihrer Mitteilung absehen möchte.

Als letzte Gruppe habe ich endlich Beobachtungen anzuführen, durch die ermittelt werden sollte, wie sich die Dinge gestalten, wenn die von den verschiedenen spektralen Lichtern zu erleuchtende kleine Öffnung statt wie bisher von weifsem, von einem f a r b i g e m Grunde umgeben ist. Technisch war dies mit grofser Leichtigkeit auszuführen. Es wurde eine Anzahl starker Kartonblätter mit verschiedenfarbigen Papieren überzogen, in diese wiederum Öffnungen von 0,6 mm Durchmesser eingestochen und diese Scheiben an Stelle der früher benutzten weifsen verwendet. — Es ergab sich sogleich, dafs auch hier stets eine bestimmte Intensität für die Erleuchtung des kleinen Feldes gefunden werden kann, bei der es unsichtbar wird, während es bei höherer oder geringerer als heller oder dunkler Punkt erscheint. — Ähnliches ist schon aus der ganz einfachen Beobachtung kleiner grauer Papierschnitzel auf farbigem Grunde zu entnehmen. Ein solches Schnitzel kann, wenn es gerade die richtige Helligkeit besitzt, auf farbigem Grunde bei hinlänglich kleinem Gesichtswinkel unsichtbar werden, während sowohl hellere als dunklere Schnitzel unter dem gleichen Gesichtswinkel noch gut wahrnehmbar sind. Es ist klar, dafs hier die Verhältnisse in vieler Hinsicht anders sind als bei farbigen Feldern auf farblosem

Grunde. Man kann hier nicht sagen, dafs die Farbenempfindung unter der Schwelle bleibe. Eher würde man sagen dürfen, dafs die auf kleinem Felde bestehende Abweichung von einer auf gröfserer Fläche gegebenen farbigen Empfindung unter der Schwelle bleibt und dafs die in der Umgebung vorhandene Farbenempfindung auf der kleinen farblos oder andersfarbig beleuchteten Fläche in gewisser Weise ergänzt wird. Bemerkenswerterweise findet aber diese Supplierung der Farbe im allgemeinen nur bei der für das Verschwinden günstigsten Intensität, d. h. also bei Gleichheit der Helligkeit statt. Ist diese aber zu grofs oder zu gering, so wird mit dem Unterschied der Helligkeit stets auch zugleich der der Farbe gesehen, d. h. das Schnitzel farblos, eventuell gegenfarbig auf dem farbigen Grunde gesehen. Ähnlich bemerkt man bei den hier in Rede stehenden Versuchen, dafs der kleine von spektralem Licht erleuchtete Punkt bei einer bestimmten Lichtintensität verschwindet; bei gröfserer oder kleinerer Lichtstärke wird in der Regel mit der Helligkeitsdifferenz zugleich auch ein Unterschied der Farbe bemerkbar.

Endlich ist zu beachten, dafs bei diesen Versuchen die Farbenumstimmungen in ähnlicher Weise wie bei den vorher besprochenen, ja vielleicht in noch höherem Mafse ins Spiel kommen. Da eine absolute Fixation nicht stattfindet, so sind z. B. bei rotem Grunde die beobachtenden Netzhautstellen alle fast andauernd von rotem Licht getroffen und also alsbald in gewissem Mafs rot-ermüdet.

Wie man nun aber auch einen Versuch dieser Art sich theoretisch deuten mag und wie man insbesondere die Ergebnisse mit den Begriffen der Schwellenwerte in Verbindung bringen mag, es erschien jedenfalls von Interesse, die analogen Bestimmungen auch unter Einführung dieser Modifikation durchzuführen.

Es zeigte sich nun, dafs die auf farbiger Umgebung bestimmten Minimalfeldhelligkeiten von den auf farblosem Grunde gefundenen erheblich abweichen oder, wie man den Sachverhalt auch ausdrücken kann, dafs die Verhältnisse der Minimalfeldhelligkeiten von der Farbe des Grundes in ausgesprochener Weise abhängig sind.

Man ersieht dies aus der folgenden Tabelle und der Figur 3.

Der Vergleich ergibt, dafs auf blauem Grunde die Minimalfeldhelligkeiten sich annähernd ähnlich wie auf farblosem

Tabelle IV.

Spektraler Ort und Wellenlänge des homogenen Lichtes		Farbiger Fleck auf rotem Grunde	gelbem Grunde	blauem Grunde	weifsem Grunde
— 2	658,0 μμ	35,6	41,5	41,7	44,9
— 1	620,8 „	82,6	91,2	97,9	91,5
— 0,5	604,5 „		97,7	117,6	120,4
0	589,3 „	100	100	100	100
+ 1	564,8 „	106,9	85,8	70,8	68,6
+ 2	542,9 „	58,3	61,3	44	39,1
+ 3	525,6 „	41	41,9	19,7	21,6

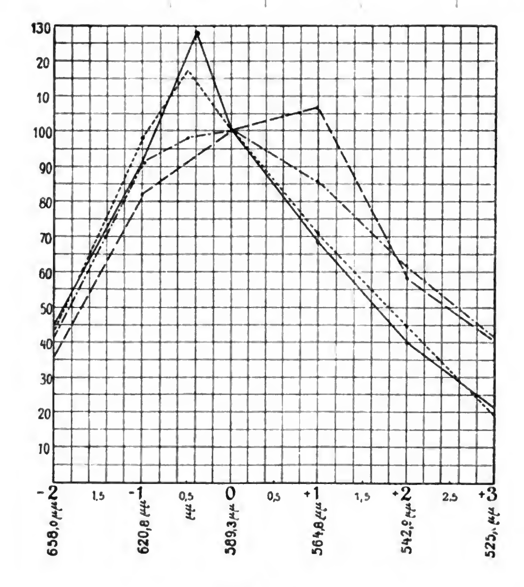


Fig. 3.

Minimalfeld-Helligkeiten bei Beobachtung des farbigen Fleckes auf weifsem Grunde (————), auf rotem (— — — — —), auf gelbem (— · — · — · —) und auf blauem (-----------------) Grunde.

darstellen, dafs dagegen bei roter und gelber Färbung der Umgebung die kurzwelligen Lichter an Helligkeit zu gewinnen scheinen. Das Maximum ist auf gelber Umgebung bis 589, auf roter sogar bis 565 $\mu\mu$ verschoben.

Von einer Erörterung dieses Befundes unter theoretischen Gesichtspunkten möchte ich hier absehen; nur darauf sei hingewiesen, dafs eine Heranziehung bekannter und verbreiteter Annahmen über den Zusammenhang benachbarter Netzhautstellen uns hier zu keiner Erklärung führt. Nach den Anschauungen Herings hätten wir uns allerdings zu denken, dafs die rote Belichtung der Umgebung auf dem kleinen Felde ähnlich einem Grünreize wirke; und nehmen wir die Anschauungen Herings über die spezifische Helligkeit der Farben hinzu, so würde sich hieraus eine Verdunkelung, ähnlich auf grünem oder blauem Grunde eine Aufhellung des spektral erleuchteten Flecks ergeben. Nicht ersichtlich aber wäre, warum diese auf der Wechselwirkung der Farben beruhende Aufhellung oder Verdunkelung nicht allen Lichtern des Flecks in gleichem Mafse zugute kommt. Gerade darin aber besteht die uns hier interessierende Tatsache, dafs dies bei den verschiedenen Lichtern in ungleichem Betrage der Fall ist und hierdurch die Helligkeitsverteilung im Spektrum sich als eine geänderte darstellt. Hierfür irgend welche Erklärungen zu ersinnen würde allerdings nicht zu schwierig sein; doch glaube ich, dafs dies nicht geschehen kann ohne sich in wenig rätlicher Weise auf hypothetisches Gebiet zu begeben.

(Aus dem psychologischen Institut der Universität Göttingen.)

Über die vom Weifs ausgehende Schwächung der Wirksamkeit farbiger Lichtreize.

Von

Dr. Géza Révész,

mit Anschlufs einer Mitteilung des Herrn Prof. Dr. G. E. Müller.

§ 1. Versuche mit Farbenschwellen.

Bietet man dem Auge dieselbe objektive Graunuance einerseits auf weifsem Grunde und andererseits auf schwarzem Grunde dar, so erscheinen beide Felder bekanntlich nicht gleich hell, sondern das Feld auf weifsem Grunde erscheint dunkler als das auf schwarzem Grunde, so dafs man die Helligkeit des ersteren Feldes vergröfsern mufs, damit es ebenso hell erscheint wie das zweite Feld.

Wir wollen nun zunächst untersuchen, ob die Farbenschwelle für die beiden Felder, wenn sie gleich hell erscheinen, bei derselben Intensität des farbigen Lichtes liegt oder nicht.

Die Versuchsanordnung bei dieser Untersuchung war eine sehr einfache. Auf einem Gestell waren zwei rotierende Kreiselscheiben nach Heringschem System angebracht. Die Kreisel wurden von einem Elektromotor in schnelle Rotation versetzt, so dafs kein Flimmern zu beobachten war. Hinter den beiden Kreiseln war als indifferenter Hintergrund eine mittelgraue Tuchwand aufgestellt. Das Beobachtungszimmer war hellgrau gefärbt. Die Kreiselscheiben wurden durch Tageslicht beleuchtet und zwar wurden die Versuche, so weit es möglich war, bei völlig klarem Himmel angestellt. Da die Fenster nach Norden lagen, so konnte das Zimmer kein direktes Sonnenlicht

erhalten, die Beleuchtung blieb also annähernd konstant. In der Regel wurde morgens zwischen 10 und 1 gearbeitet. Um aber möglichst exakt zu verfahren, habe ich die jeweilige Tagesbeleuchtung nach der einfachen meteorologischen Methode bestimmt.[1]

Die Versuchsperson safs vor dem Apparat in einer Entfernung von ungefähr 1 m vor der Mitte der beiden Scheiben. Eine hinter ihr aufgestellte Kopfstütze verhinderte, dafs während der Versuchsreihe die Stellung des Kopfes gewechselt wurde. Beobachtet wurde im wesentlichen mit helladaptierten Augen. Nach jeder Beobachtung wandten sich die Augen der Versuchsperson wieder der grauen Tuchwand zu.

Die Kreisel waren so aufgestellt, dafs sie gleichförmig beleuchtet waren. Jedoch habe ich es nicht für überflüssig gehalten, während der Versuchsreihe ihre Raumlage zu wechseln.

Die Kreiselscheiben waren in folgender Weise konstruiert. Die Kreiselscheibe I bestand aus drei konzentrischen Kreisscheiben von verschiedenen Radien. Die gröfste und die kleinste bestanden aus schwarzem Tuchpapier, während die mittlere aus drei gleich grofsen Papierscheiben, aus einer schwarzen, einer weifsen und einer farbigen, zusammengesetzt war, die ineinander gesteckt konzentrisch waren. Da die gröfste Scheibe zu unterst, die drei Scheiben von mittlerem Radius auf dieser und die kleinste zu oberst lag, so ergab sich bei der Rotation des

---

[1] Die Bewölkung wurde demnach in fünf Hauptklassen geteilt, von denen aufser der ersten jede in zwei Unterstufen zerfiel. Sowohl vor als auch nach jedem Versuch wurde der Himmel im Freien angesehen und der Grad der Klarheit nach der nachstehenden Einteilung zu Protokoll genommen:

Klasse	I	ganz klar			
„	II a	1/4	des Himmels	hell bewölkt	
„	II b	1/4	„ „	dunkel	bewölkt
„	III a	1/2	„ „	hell	„
„	III b	1/2	„ „	dunkel	„
„	IV a	3/4	„ „	hell	„
„	IV b	3/4	„ „	dunkel	„
„	V a	4/4	„ „	hell	„
„	V b	4/4	„ „	dunkel	„

Im übrigen will ich bemerken, dafs die Resultate der im nachstehenden zu besprechenden Versuche sich tatsächlich als unabhängig von der Helligkeitsstufe der Tagesbeleuchtung gezeigt haben.

Kreisels ein Ring auf schwarzem Grunde. Die Kreiselscheibe II war ganz ebenso angeordnet wie I, nur dafs der Grund, auf dem der Ring während der Rotation des Kreisels erschien, nicht schwarz, sondern weifs war.[1] Die zwei Kreiselscheiben waren so nahe zueinander aufgestellt, wie es eben möglich war. Zwischen den beiden Scheiben in der Höhe ihrer Axen war ein kleines Fixierzeichen (rot) angebracht.

Des näheren verfuhr ich bei der Bestimmung der Farbenschwellen folgendermafsen.

Der oben erwähnten Fragestellung gemäfs sollte festgestellt werden, wie sich die Farbenschwellen auf den mittleren Ringen der beiden Scheiben verhielten, wenn diese beiden Ringe gleich hell erschienen. Es mufste also zunächst eine Helligkeitsgleichung zwischen den beiden Ringen hergestellt werden.

Da mir die Herstellung einer Helligkeitsgleichung mittels sukzessiver Fixation der zu vergleichenden Ringe mit gröfseren Fehlern behaftet erschien, so zog ich es vor, die subjektive Gleichheit der Helligkeit der beiden Ringe in der Weise herzustellen, dafs die Versuchsperson das erwähnte rote Zeichen fixierte und die diesem Zeichen zugewandten Teile der Ringe miteinander verglich. Übrigens zeigte sich, dafs die auf diese Weise hergestellten Helligkeitsgleichungen auch dann gültig blieben, wenn die beiden Ringpartien mittels sukzessiver Fixierung verglichen wurden.

Auf dem *D*-Feld[2] wurden Sektoren von 354° Schwarz und 6° Weifs eingestellt. Wenn der Kreisel in Rotation versetzt war, so erschien demgemäfs auf dem dunklen Grund (*D*-Grund) ein grauer Ring (*D*-Feld) von mittlerer Helligkeit. Dieses Verhältnis der Sektorengröfsen wurde während sämtlicher Versuche konstant gehalten und das *D*-Feld diente so als Vergleichsfeld bei sämtlichen Versuchen. Zu diesem Vergleichsfelde wurde dann auf dem *H*-Grund ein Ring (*H*-Feld) von derselben subjektiven

---

[1] Die Breite des mittleren Ringes betrug auf beiden Kreiseln 1 cm. Bei dieser Breite erschien auch der Ring auf dem Kreisel II sämtlichen Versuchspersonen gleichförmig hell, obwohl prinzipiell betrachtet die induzierte Kontrastwirkung in verschiedener Entfernung von dem Rande des Ringes nicht dieselbe war.

[2] Ich werde der Kürze halber den auf dunklem Grund befindlichen Ring als *D*-Feld, das auf hellem Grunde befindliche als *H*-Feld bezeichnen.

Helligkeit aufgesucht.[1] Die Helligkeitsgleichung wurde vor jeder Versuchsreihe durch die Versuchsperson dreimal hergestellt und aus den erhaltenen Einzelwerten der Helligkeit des *H*-Feldes das Mittel gewonnen, und dieser berechnete Mittelwert wurde dann durch den Versuchsleiter auf dem *H*-Feld eingestellt. Um sicher zu sein, dafs man die Farbenschwellenbestimmungen unter annähernd konstanten Bedingungen anstelle, wurde auch noch nach jeder Versuchsreihe kontrolliert, ob die vor der Versuchsreihe eingestellte Helligkeitsgleichung noch gültig sei, indem die Versuchsperson zwei- bis dreimal eine Helligkeitsgleichung zwischen beiden Feldern herstellte. Es ergab sich schon gleich am Anfang der Versuche, dafs die Helligkeitsgleichung, wie schon oben bemerkt, innerhalb der in Betracht kommenden Grenzen unabhängig von der Beleuchtungsstärke war, so dafs die einmal festgestellte Helligkeitsgleichung nicht nur während eines Versuchstages, sondern während mehreren Wochen gültig blieb.

War nun also die Helligkeitsgleichung in der angegebenen Weise bestimmt, so ging ich zur Ermittlung der Farbenschwellen über, und zwar habe ich die vier Farben rot, gelb, grün und blau[2] untersucht. Es wurde zuerst mittels der Grenzmethode die Farbenschwelle z. B. für Rot für das *D*-Feld und dann für dieselbe Farbe für das *H*-Feld aufgesucht. Bei aufsteigendem Verfahren wurde von einem Werte des farbigen Lichtes ausgegangen, bei dem noch keine Farbigkeit empfunden wurde. Die Stufen, um welche der farbige Sektor abgeändert wurde, betrugen Bruchteile von Graden. Es wurde die Sektorgröfse notiert, bei der zuerst die Farbigkeit merkbar war. Bei absteigendem Verfahren wurde von einer Sektorengröfse ausgegangen, bei der die Farbe stets richtig erkannt wurde. Die Stufen betrugen gleichfalls nur Bruchteile von Graden; es wurde diejenige Sektorgröfse notiert, bei der die Farbigkeit eben verschwand. Für jedes der beiden Felder wurden auf diese Weise fünf Zahlen für die Farbenschwellen gewonnen und aus diesen

---

[1] Es zeigte sich, dafs das *H*-Feld 76° Weifs enthalten mufste, um dem nur 6° Weifs enthaltenden *D*-Felde an Helligkeit gleich zu erscheinen.

[2] Die Benutzung von Mischfarben, z. B. Orange, empfahl sich schon deshalb nicht, weil der Farbenton derselben durch den auf dem *H*-Felde erforderlichen Zusatz von objektivem Weifs zu erhebliche Veränderungen erfahren hätte.

Ich erwähne noch, dafs bei Bestimmung der Farbenschwellen das betreffende Feld, *H*- oder *D*-Feld, fixiert wurde.

das arithmetische Mittel gezogen. In der Regel habe ich an jedem Versuchstag nur für eine Farbe die Schwellen bestimmt. Nachdem ich die Schwellen für die vier von mir benutzten Farben das erste Mal bestimmt hatte, wiederholte ich die Bestimmungen noch einige Male und nahm dann aus den an den einzelnen Tagen erhaltenen Mittelwerten den Durchschnitt. Für jede der untersuchten Farben habe ich das Verhältnis der Schwellenwerte für das *H*- und das *D*-Feld ausgerechnet, ein Verhältnis, das ich aus später zu erwähnendem Grunde als den Schwächungskoeffizienten ε bezeichne. Ich teile nun die bei meiner Untersuchung erhaltenen Werte des Schwächungskoeffizienten ε für die verschiedenen Versuchspersonen tabellarisch mit. Die mit *D* bezeichnete vertikale Kolumne gibt die Winkelgröfse des farbigen Sektors an, welcher den Schwellenwert für das *D*-Feld darstellt; m. V. bedeutet immer die mittlere Variation des links daneben stehenden Schwellenwertes; die vertikale Kolumne *H* gibt die Winkelgröfse des farbigen Sektors an, welcher den Schwellenwert des *H*-Feldes repräsentiert, und endlich die Kolumne ε enthält den Schwächungskoeffizienten.

Tabelle I.

($n = 30$[1]).

Farbe	Jacobs					Hofmann				
	D		*H*		ε	*D*		*H*		ε
	S	m. V.	*S*	m. V.		*S*	m. V.	*S*	m. V.	
Gelb	1,5	0,3	3,48	0,5	2,32	2,0	0,33	4,0	0,4	2,0
Rot	1,2	0,3	4,9	0,7	4,1	1,2	0,35	4,6	0,5	3,85
Grün	1,3	0,15	5,6	0,3	4,3	1,3	0,2	5,85	0,3	4,5
Blau	1,3	0,7	11,3	0,9	8,7	1,4	0,14	12,18	1,32	8,7

Farbe	Dearborn					Révész				
	D		*H*		ε	*D*		*H*		ε
	S	m. V.	*S*	m. V.		*S*	m. V.	*S*	m. V.	
Gelb	1,8	0,4	4,5	0,4	2,5	1,5	0,5	3,6	0,7	2,4
Rot	1,3	0,2	5,85	0,4	4,5	1,1	0,3	3,96	0,6	3,6
Grün	1,6	0,2	6,9	0,4	4,3	1,7	0,3	6,63	1,0	3,9
Blau	1,9	0,2	13,8	0,9	7,3	1,4	0,2	10,64	0,7	7,6

[1] Mit n wird in herkömmlicher Weise die jedem der angeführten Mittelwerte zugrunde liegende Versuchszahl bezeichnet.

Betrachten wir die in der Tabelle I enthaltenen Resultate näher, so sehen wir, dafs die Schwächungskoeffizienten der verschiedenen Farben voneinander abweichen. Die gröfste Schwächung trat bei Blau auf, die geringste bei Gelb. Zwischen diesen beiden Farben stehen Rot und Grün mit voneinander nur sehr wenig abweichenden Werten von ε. Ferner läfst sich noch sagen, dafs die für die einzelnen Farben bei den verschiedenen Versuchspersonen erhaltenen Werte im grofsen und ganzen miteinander übereinstimmen.

Ich möchte ausdrücklich hervorheben, dafs die in Rede stehenden Versuche die Aufmerksamkeit der Versuchspersonen sehr in Anspruch nahmen. Zunächst ist schon die Herstellung von Helligkeitsgleichungen für ungeübte Beobachter mit mancher Schwierigkeit verbunden, um so mehr unter den vorliegenden Bedingungen, bei denen eine Helligkeitsgleichung zwischen auf verschieden hellem Grunde erscheinenden Feldern hergestellt werden soll. Die Versuchspersonen haben mir am Anfange der Versuche versichert, dafs die Herstellung einer Helligkeitsgleichung unter den vorliegenden Bedingungen fast unmöglich sei, und dafs sie keine bestimmten Urteile abgeben könnten, weil es für sie aufserordentlich schwierig sei, die beiden Felder zu vergleichen. Erst nach längerer Übung waren die Versuchspersonen imstande bestimmte Urteile über das Helligkeitsverhältnis des *H*- und des *D*-Feldes abzugeben, und zwar ging dann die Präzision soweit, dafs für die Einstellungen des variablen *H*-Feldes die mittlere Variation (im Durchschnitt für alle Versuchspersonen) nur 0,6° betrug.

Zu bemerken ist noch, dafs, wenn die Helligkeitsgleichung für beide Felder hergestellt ist, doch nicht eine Gleichheit derselben in jeder Hinsicht besteht. Das *D*-Feld erscheint leuchtender, glänzender, etwa mit einem Metallglanz überzogen, besitzt eine gröfsere Eindringlichkeit und ist mehr gefühlsbetont als das gleich hell erscheinende *H*-Feld. Überhaupt zieht ein graues Feld auf schwarzem Grunde mehr die Aufmerksamkeit auf sich und ist im allgemeinen mehr von Lustgefühl begleitet als ein dunkles Feld auf hellem Grunde. Dagegen erscheint das *H*-Feld etwa wie mit einem Schleier überzogen, unbestimmt, trübe und transparent.

Auch gegen die nach hergestellter Helligkeitsgleichung stattfindenden Schwellenbestimmungen läfst sich von vornherein das

Bedenken erheben, daſs wegen der Kleinheit der in Betracht kommenden Zahlen der Wert von ε durch eine Fehlerhaftigkeit bei der Einstellung des *H*-Feldes sehr erheblich verschoben werden kann. Obwohl dieses Bedenken durch die Übereinstimmung, welche die von den verschiedenen Versuchspersonen gelieferten Werte von ε im groſsen und ganzen zeigen, im wesentlichen beiseite gerückt wird, so habe ich wegen der Wichtigkeit, welche eine Untersuchung der in den verschiedenen Werten von ε sich äuſsernden Vorgänge besitzt, es doch für angezeigt gehalten, die begonnene Untersuchung mit überschwelligen Farbenreizen fortzusetzen.

§ 2. Untersuchung mit überschwelligen Farbenreizen.

Die Versuche wurden folgendermaſsen angestellt. Nachdem eine Helligkeitsgleichung zwischen dem *D*- und *H*-Feld hergestellt war, wurde dem *D*-Feld ein farbiger (z. B. roter) Sektor von der Gröſse von 8° zugefügt und dieser Wert des farbigen Sektors bei allen Versuchen beibehalten. Für das *H*-Feld wurde diejenige Gröſse eines Sektors von gleicher (roter) Farbe ermittelt, bei welcher dieses Feld in gleichem Grade farbig erschien wie das *D*-Feld. Die hierbei benutzte Methode war wiederum die Grenzmethode. Die Vergleichung der Farbigkeiten des *D*- und *H*-Feldes wurde in der Weise vollzogen, daſs die dem oben erwähnten Fixierzeichen zunächst liegenden Partien dieser ringförmigen Felder sukzessiv fixiert wurden. Es blieb der Versuchsperson anheimgestellt, wie oft sie die beiden Felder zwecks Vergleichung beobachten wollte; nur muſste sie nach jeder Vergleichung die graue Tuchwand eine kurze Zeit ansehen. Bei diesen Versuchen wurden ebenso wie bei den oben besprochenen Farbenschwellenbestimmungen die 4 Farben rot, gelb, grün und blau benutzt.

Die folgenden Tabellen (II—VI) enthalten die Resultate von diesen Versuchen. Die mit *D* bezeichnete vertikale Kolumne gibt die Winkelgröſse des farbigen Sektors auf dem *D*-Feld, die mit *H* bezeichnete die Winkelgröſse des farbigen Sektors des *H*-Feldes an. Die vertikale Kolumne m. V. enthält die mittlere Variation des zufällig variablen *H*-Wertes und die letzte Kolumne endlich den aus den beiden unter *D* und *H* angeführten Werten berechneten Schwächungskoeffizienten ε.

Tabelle II.

($n = 10$.)

Farbe	Jacobs				Hofmann				Révész			
	D	H	m. V.	ε	D	H	m. V.	ε	D	H	m. V.	ε
Gelb	8,0	27	2,1	**3,4**	8,0	33	1,8	**3,1**	8,0	20,8	0,3	**2,6**
Rot	8,5	32	1,4	**3,7**	8,0	28,4	1,6	**3,4**	8,5	30,0	0,4	**3,5**
Grün	9,0	40	2,6	**4,4**	8,5	41	1,5	**4,8**	8,0	33,5	0,2	**4,2**
Blau	8,0	50,1	0,15	**6,3**	8,0	51	0,1	**6,1**	8,2	51,2	0,3	**6,2**

Farbe	Dearborn				Küchler			
	D	H	m. V.	ε	D	H	m. V.	ε
Gelb	8,2	24,6	0,5	**3,0**	8,0	21,2	0,25	**2,7**
Rot	8,0	28,8	0,6	**3,6**	8,5	32	0,14	**3,7**
Grün	8,5	39,2	0,1	**4,6**	8,2	34,5	0,3	**4,2**
Blau	8,5	53,4	0,3	**6,2**	8,0	50	0,2	**6,2**

Tabelle III.

($n = 10$.)

Farbe	Jacobs				Hofmann				Dearborn			
	D	H	m. V.	ε	D	H	m. V.	ε	D	H	m. V.	ε
Gelb	16	45	1,8	**2,8**	16	41	0,5	**2,5**	16	47	0,6	**2,9**
Rot	16	60	0,6	**3,7**	16	65,5	0,2	**4,1**	16	64	0,3	**4,0**
Grün	16	71,5	1,2	**4,46**	16	68	0,7	**4,2**	16	73,5	0,4	**4,6**
Blau	16	104	0,2	**6,4**	16	103	0,25	**6,4**	16	105	0,15	**6,6**

Tabelle IV.

($n = 10$.)

Farbe	Jacobs				Hofmann				Dearborn			
	D	H	m. V.	ε	D	H	m. V.	ε	D	H	m. V.	ε
Gelb	17	43	0,4	**2,5**	15,5	43	0,5	**2,7**	18,0	43	0,4	**2,4**
Rot	11,9	43	1,0	**3,6**	12,2	43	0,2	**3,5**	12,2	43	0,2	**3,5**
Grün	11,0	43	0,25	**3,9**	10,2	43	0,7	**4,2**	10,7	43	0,3	**4,0**
Blau	6,8	43	0,4	**6,3**	7,2	43	0,3	**5,9**	7,0	43	0,35	**6,1**

Tabelle V.
($n = 10.$)

Farbe	Jacobs				Hofmann				Dearborn			
	D	H	m. V.	ε	D	H	m. V.	ε	D	H	m. V.	ε
Gelb	24,5	64	0,3	2,6	26,5	64	0,6	2,4	28	64	0,5	2,5
Rot	19,0	65	0,25	3,4	19,0	64	0,3	3,3	18,8	64	0,12	3,4
Grün	17,0	65	0,45	3,8	16,0	64	1,1	4,0	18	64	0,4	3,5
Blau	11,0	65	0,2	5,9	10,4	64	0,25	6,1	11	64	0,3	5,8

Tabelle VI.
($n = 10.$)

Farbe	D	H	ε	D	H	ε
Rot	14	45	3,2	20	64	3,2
Orange	18	41	2,27	25	64	2,5
Gelb	18	44	2,4	25	64	2,5
Gelbgrün	18	46	2,5	21	64	3,0
Grüngelb	14	46	3,2	18	66	3,6
Grün	12	44	3,6	16	64	4,0
Grünblau	10	44	4,4	15	66	4,4
Blau	7,5	44	5,8	11	64	5,9
Violett	7,8	44	5,6	12	64	5,3

Die in der Tabelle II eingetragenen Werte von ε lassen mit vollster Sicherheit erkennen, dafs die Schwächung für die verschiedenen Farben unter sonst gleichen Umständen verschieden grofs ist, und zwar zeigt sich in Übereinstimmung mit den Resultaten der obigen Schwellenbestimmungen der Schwächungskoeffizient am geringsten für Gelb, dann folgt Rot, mit kurzem Abstand davon Grün, und zuletzt wiederum Blau, für welches ε reichlich doppelt so grofs ist wie für Gelb.

Um zu sehen, ob die Schwächungskoeffizienten bei stärkerem Farbenreize dieselben bleiben wie bei schwächerem, habe ich auf dem D-Feld den farbigen Sektor um 8° erhöht. Die Tabelle III gibt die erhaltenen Werte. Die Tabellen IV und V beziehen sich auf die gleiche Frage wie die vorausgehenden Tabellen, nur war hier bei den Versuchen als konstantes Vergleichsfeld das H-Feld gewählt. Die Resultate entsprechen durchaus den in Tabelle II angeführten.

Tabelle VI gibt die Resultate einer Versuchsreihe an, in welcher die Zahl der verschiedenen benutzten Farben 9 betrug. Der Gang von ε in dieser Tabelle entspricht demjenigen, was man nach den bisherigen Resultaten zu erwarten hatte.

§ 3. Versuche mit absoluten Farbengleichungen.

Bei den Farbengleichungen, die bei den Versuchen des vorigen Paragraphen hergestellt wurden, erschien das *H*-Feld zwar im gleichen Grade farbig wie das *D*-Feld, aber nicht auch gleich hell; denn dadurch, dafs man auf dem *H*-Felde einen breiteren farbigen Sektor angebracht hat, hat man diesem Felde zugleich auch eine gröfsere *W*-Valenz zugesetzt als dem *D*-Felde und dadurch die vorher hergestellte Helligkeitsgleichung zugunsten des *H*-Feldes vernichtet.[1] Die Versuchsperson hatte also die Farbigkeiten der beiden Felder unter ungünstigen Bedingungen, nämlich bei etwas verschiedenen Helligkeiten derselben, zu vergleichen. Ich habe daher auch noch Versuche angestellt, bei denen die Versuchsperson absolute Farbengleichungen herzustellen hatte, d. h. solche, bei denen das *D*-Feld und das *H*-Feld sowohl hinsichtlich der Farbigkeit, wie auch hinsichtlich der Helligkeit so sehr als möglich übereinstimmten.[2]

Nachdem man eine Helligkeitsgleichung zwischen dem *D*-Felde, das, wie bisher, nur 6° Weifs enthielt und dem *H*-Felde zustande gebracht hatte, stellte man auf beiden Feldern einen

---

[1] Die Tatsache, dafs bei der in der obigen Weise vollzogenen Herstellung der gleichen Farbigkeit der beiden Felder das *H*-Feld heller wird als das *D*-Feld, scheint zu beweisen, dafs die auf dem *H*-Felde bestehende Schwächung das Weifs in geringerem Grade trifft als die Farbe. Es ist indessen zu bedenken, dafs für Weifs insofern eine Komplikation besteht, als sich bei Zusatz eines bestimmten Quantums von Weifs zu dem *H*-Felde und dem *D*-Felde auf beiden Feldern zugleich der Kontrast zu dem umgebenden *H*- bzw. *D*-Grunde ändert. Dafs die in Rede stehende Schwächung für Weifs besteht, ergibt sich bereits aus einem Versuche Herings, den Hess und Pretori gelegentlich (*Arch. f. Ophthalm.* **40** (4), S. 22 ff.) mitgeteilt haben.

[2] Die Herstellung vollkommener Farbengleichungen stöfst in diesem Falle insbesondere schon deshalb auf Schwierigkeiten, weil der bedeutende Zusatz von objektivem weifsen Lichte, der auf dem *H*-Feld erfordert ist, zufolge hat, dafs der Farbenton der benutzten Farbe (in Einklang mit der am Schlusse dieser Abhandlung beigefügten Mitteilung von Prof. Müller) auf diesem Felde etwas anders ausfällt als auf dem *D*-Felde.

gleich grofsen (übermerklichen) Farbensektor ein. Die Helligkeiten der beiden Ringe waren nach dieser Einstellung nicht mehr gleich, sondern man mufste den Weifssektor des *H*-Feldes vergröfsern. Hatte man durch Vergröfserung desselben die gleiche Helligkeit auf beiden Feldern erhalten, so war die Farbigkeit auf dem *H*-Felde zu gering. Es wurde daher auf diesem Felde der farbige Sektor bis zum Punkte der gleichen Farbigkeit beider Felder vergröfsert, wobei immer zugleich die Breite des weifsen Sektors des *H*-Feldes in der Weifse verringert wurde, dafs der Zuwachs von Weifsvalenz, der eine Vergröfserung des farbigen Sektors mit sich brachte, durch die Verringerung des weifsen Sektors gerade kompensiert wurde.[1] In entsprechender Weise wurde bei den Versuchen absteigender Richtung verfahren, bei denen von einem deutlich zu grofsen farbigen Sektor des *H*-Feldes ausgegangen wurde.

Ich gebe jetzt tabellarisch die Resultate dieser Versuche wieder, und zwar gebe ich neben der Gröfse der farbigen Sektoren des *D*- und *H*-Feldes auch noch das Verhältnis dieser Sektoren, den Schwächungskoeffizienten ε, an.

Tabelle VII.

($n = 30$.)

Farbe	Jacobs			Hofmann			Katz			Révész		
	D	*H*	ε	*D*	*H*	ε	*D*	*H*	ε	*D*	*H*	ε
Gelb	30	36	**1,2**	30	35	**1,17**	30	36	**1,2**	30	35	**1,17**
Rot	30	39	**1,3**	30	38	**1,27**	30	39	**1,3**	30	39	**1,3**
Grün	30	41	**1,36**	30	40	**1,33**	30	40	**1,33**	30	41	**1,37**
Blau	30	64	**2,1**	30	62	**2,07**	30	60	**2,0**	30	64	**2,1**

[1] Um diese kompensierenden Änderungen des weifsen Sektors ausführen zu können, war vorher die (für das Hellauge in Betracht kommende) Weifsvalenz des benutzten farbigen Papieres bestimmt worden, und zwar bestimmte ich mittels des von Hess beschriebenen Heringschen Apparates zur Diagnose der peripheren Farbenblindheit die benutzten Farben die Peripheriewerte des helladaptierten Auges. Es spricht gewifs für die Tauglichkeit dieser Methode der Weifsvalenzbestimmung, dafs die Summe der *W*-Valenzen, welche das *H*-Feld nach hergestellter absoluter Farbengleichung enthielt, bei allen benutzten Farben merkbar dieselbe war.

Tabelle VIII.

(n = 30.)

Farbe	Jacobs			Hofmann			Katz			Révész		
	D	H	ε	D	H	ε	D	H	ε	D	H	ε
Gelb	60	72	**1,2**	60	72	**1,2**	60	73	**1,21**	60	72,6	**1,21**
Rot	60	79	**1,31**	60	77	**1,27**	60	78	**1,3**	60	77,4	**1,29**
Grün	60	82	**1,36**	60	80	**1,33**	60	81	**1,35**	60	81,0	**1,35**
Blau	60	126	**2,1**	60	120	**2,0**	60	121	**2,01**	60	122	**2,03**

Tabelle IX.

(n = 30.)

Farbe	Jacobs			Hofmann			Katz			Révész		
	D	H	ε	D	H	ε	D	H	ε	D	H	ε
Gelb	90	111,5	**1,24**	90	110	**1,22**	90	110	**1,22**	90	110	**1,22**
Rot	90	121,4	**1,35**	90	120	**1,33**	90	123	**1,36**	90	121,5	**1,35**
Grün	90	125,5	**1,39**	90	127	**1,41**	90	126	**1,4**	90	128	**1,42**
Blau	90	189	**2,1**	90	185	**2,05**	90	182	**2,02**	90	185	**2,05**

Tabelle X.

(n = 30.)

Farbe	Steckel (Deuteranop)			Steckel			Steckel		
	D	H	ε	D	H	ε	D	H	ε
Gelb	30	37	**1,23**	60	73	**1,21**	90	112	**1,23**
Rot	30	40	**1,33**	60	80	**1,33**	90	121	**1,34**
Grün	30	42	**1,4**	60	83	**1,38**	90	127	**1,41**
Blau	30	58	**1,9**	60	132	**2,2**	90	190	**2,11**

Tabelle XI.[1]

(n = 40.)

Farbe	Cheym (Protanop)			Dr. Levy (Anomal)			Révész			Andersen (Deuteranop)		
	D	H	ε	D	H	ε	D	H	ε	D	H	ε
Gelb	60	75	**1,25**	60	69	**1,15**	60	69	**1,15**	60	67	**1,11**
Rot	60	78	**1,3**	60	84	**1,4**	60	85	**1,41**	60	81	**1,35**
Grün	60	81,5	**1,35**	60	78	**1,3**	60	80	**1,33**	60	80	**1,33**
Blau	60	110	**1,83**	60	103	**1,7**	60	109	**1,8**	60	105	**1,7**

[1] Die Untersuchungen denen die in den Tabellen XI und XII verzeichneten Werte zugrunde liegen, habe ich in dem psychologischen In-

Tabelle XII.
($n = 20.$)

Farbe	Cheym (Protanop)			Dr. Levy (Anomal)			Révész			Andersen (Deuteranop)		
	D	*H*	ε	*D*	*H*	ε	*D*	*H*	ε	*D*	*H*	ε
Gelb	90	108	1,2	90	105	1,16	90	109	1,21	90	108	1,2
Rot	90	127	1,41	90	121	1,34	90	125	1,38	90	126	1,4
Grün	90	126	1,4	90	120	1,33	90	121,5	1,35	90	125	1,38
Blau	90	163	1,8	90	148	1,64	90	154	1,71	90	153	1,7

In diesen Tabellen zeigt sich folgendes. Der Schwächungskoeffizient ε ist wiederum für Gelb am geringsten ausgefallen, dann folgt Rot, hierauf wiederum mit nur geringem Abstande Grün, und zuletzt Blau, dessen Schwächungskoeffizient sich zu dem von Gelb etwa wie 2 zu 1,2 verhält. Dafs die Farben hinsichtlich der Werte von ε in der hier angegebenen Ordnung aufeinander folgen, kann nach den zahlreichen Versuchen, auf die sich die Tabellen I—XII beziehen, als sichergestellt gelten.[1]

Untersuchen wir ferner, wie sich die Werte von ε verhalten, wenn die Breite des dem konstanten Vergleichsfelde (*D*-Felde) zugesetzten farbigen Sektors vergröfsert wird, so zeigt sich keine ausgeprägte Abhängigkeit des ε von dieser Sektorbreite. Nur eine sehr geringe Zunahme von ε bei wachsender Breite des dem *D*-Felde zugesetzten farbigen Sektors mufs als wahrscheinlich zugegeben werden, wenn man die Resultate von Tabelle VII und Tabelle IX miteinander vergleicht.

Die verschiedenen Versuchspersonen stimmen nicht blofs hinsichtlich der Reihenfolge, in welcher die Farben gemäfs dem ihnen entsprechenden Werte von ε anzuordnen sind, sondern auch hinsichtlich der den verschiedenen Farben zugehörigen absoluten Werte von ε in bemerkenswerter Weise miteinander überein. Diese Übereinstimmung ist um so bemerkenswerter, weil sich unter den Versuchspersonen ein Protanop (Cheym), zwei

stitut der Universität Berlin durchgeführt. Für die Erlaubnis zu diesem Zwecke das Institut zu benützen, danke ich den Herren Geheimrat Prof. Stumpf und Prof. Schumann bestens.

[1] Dafs die in den Tabellen II—VI angeführten Werte von ε absolut genommen bedeutend gröfser sind als die in den obigen Tabellen VII—XII angeführten Werte, ist natürlich daraus zu erklären, dafs bei jenen früheren Versuchen das *H*-Feld eine gröfsere Helligkeit besafs als das *D*-Feld.

Deuteranopen (Steckel und Andersen) und ein anomaler Tetrachromat (Levy)[1] befinden.

Die hier für das *H*-Feld nachgewiesene Schwächung der Wirksamkeit chromatischer Lichtreize läſst sich nicht anders als durch folgende Anschauungen erklären.

Ein wirkendes weiſses Licht ruft in der Netzhaut (in den Zapfen) einen Vorgang hervor, dessen Stärke sich zwar nach der physikalischen Intensität dieses Lichtes, nicht aber auch danach bestimmt, wie nun der Erregungseffekt dieses Lichtes durch den Einfluſs eines vorhandenen Helligkeitskontrastes modifiziert wird, und welcher zur Folge hat, daſs gleichzeitig einwirkende farbige Lichtreize in ihrer erregenden Wirkung geschwächt werden. Da von dem *H*-Felde ein stärkeres weiſses Licht ausgeht, als von dem *D*-Felde, so ist dieser Vorgang in den dem *H*-Felde entsprechenden Netzhautteilen stärker entwickelt als in den dem *D*-Felde entsprechenden Netzhautpartien, es erfahren somit die chromatischen Lichtreize infolge dieses Vorganges in den ersteren Netzhautteilen eine gröſsere Abschwächung als in den letzteren, so daſs, um eine absolute Farbengleichung für beide Felder herzustellen, der farbige Sektor auf dem *H*-Felde gröſser genommen werden muſs als auf dem *D*-Felde.

Auf weitere Betrachtungen darüber, von welcher Art der hier besprochene retinale Vorgang sein könne, gehe ich nicht ein, da für eine Diskussion dieser Frage der Kreis der in Betracht kommenden Tatsachen noch nicht hinlänglich aufgeklärt ist und es wenig angezeigt erscheint, über einen Erscheinungskreis, in Beziehung auf die noch so viele Versuche anzustellen sind, vorzeitig irgendwelche Hypothesen einzuführen. Ich selbst hoffe die vorstehenden mit Pigmentfarben ausgeführten Versuche in Bälde mit Spektralfarben in ausgedehnterem Maſse (auch mit Variierung der Helligkeit des *D*- und *H*-Feldes) fortführen zu können.

Natürlich ist der hier in Rede stehende Vorgang auch auf den früher untersuchten Gang, den die Farbenschwellen bei wachsender Intensität

[1] Wie schon früher erwähnt, gehört Herr Dr. Levy zu demjenigen Typus der Anomalen, bei welchen das rote Ende des Spektrums verkürzt ist. Ich möchte nicht unterlassen zu bemerken, daſs Herr Prof. Schumann, welcher dem anderen Typus der Anomalen angehört, bei gelegentlicher Mitbeteilung an den Beobachtungen die von mir und anderen Versuchspersonen hergestellten absoluten Farbengleichungen gleichfalls anerkannt hat.

eines gegebenen W-Reizes nehmen, von wesentlichem Einflufs.[1] Professor Müller hat ferner auch bereits die von Pretori und Sachs näher untersuchte Tatsache, dafs für die Kompensierung eines und desselben Farbenkontrastes ein um so intensiverer farbiger Lichtreiz erforderlich ist, je mehr Weifs das Kontrastfeld enthält, auf einen Vorgang der hier in Rede stehenden Art zurückgeführt. Hat man die rote Kontrastfarbe, die eine grüne Rotationsscheibe in einem auf ihr befindlichen grauen Ringe erweckt, durch Zusatz von Grün zu dem grauen Ringe gerade kompensiert und setzt man nun diesem Ringe noch ein gewisses Quantum Weifs zu, indem man auf demselben einen schwarzen Sektorabschnitt von geeigneter Breite durch einen gleich breiten weifsen Sektorabschnitt ersetzt, so tritt die rote Kontrastfarbe in dem Ringe wieder deutlich hervor, und zwar eben deshalb, weil die mit dem Weifszusatze verknüpfte Steigerung des in Rede stehenden retinalen Vorganges mit einer Abschwächung der erregenden Wirkung des von dem Ringe ausgehenden grünen Lichtes verbunden ist, während der von dem umgebenden grünen Felde auf den Ring ausgeübte Kontrasteinflufs durch jenen Vorgang nicht beeinflufst wird.

Auch der zweite von Pretori und Sachs aufgestellte Satz, dafs die von einem farbigen Felde ausgehende chromatische Kontrastwirkung bei konstanter farbiger Valenz dieses Feldes und unter sonst gleichen Umständen um so geringer ist, je gröfser die Weifsvalenz dieses Feldes ist, würde sich, wie Prof. Müller (a. o. a. O.) bemerkt hat, auf die Wirksamkeit des hier in Rede stehenden Vorganges zurückführen lassen. Je gröfser die Weifsvalenz des kontrasterweckenden Feldes ist, desto stärker fällt jener Vorgang in der von diesem Felde betroffenen Netzhautpartie aus, desto geringer ist also die erregende Wirkung der chromatischen Valenz dieses Feldes, und desto schwächer mithin auch der von derselben herrührende Kontrasteinflufs.

Einen weiteren hierher gehörigen Erscheinungskreis dürften nach der an mich gerichteten, nachstehenden Mitteilung von Herrn Prof. Müller die Änderungen des Farbentones bilden, die einerseits bei objektivem und andererseits bei subjektivem Weifszusatze eintreten. „Von objektivem Weifszusatze rede ich dann, wenn dem farbigen Felde objektives weifses Licht zugemischt wird, von subjektivem Weifszusatze jedoch dann, wenn der Unterschied in der Weifslichkeit und Schwärzlichkeit des Feldes mit Hilfe des simultanen oder sukzessiven Helligkeitskontrastes bewirkt wird. Man erhält also den Fall des subjektiven Weifszusatzes, wenn man ein farbiges Feld zunächst auf weifsem und dann auf schwarzem Grund betrachtet, oder wenn man einen Punkt eines kleinen, auf schwarzem Grunde befindlichen, hellweifsen Feldes fixiert und dann schnell den Blick auf einen markierten Punkt einer vorgeschobenen gleichförmigen, farbigen Fläche richtet. Zwischen dem dunklen Felde, das alsdann auf letzterer Fläche erscheint, und seiner helleren Umgebung zeigt sich dann ein Unterschied des Farbentones, der in derselben Richtung liegt wie derjenige, der zwischen zwei Feldern der betreffenden

[1] Man vergleiche hierzu und zum nachfolgenden G. E. Müller, *Z. f. Psychol.* **14**, 36f.

Farbe besteht, von denen sich das eine auf weifsem, das andere auf schwarzem Grunde befindet."

„Untersucht man nun, wie sich der Ton der verschiedenen Farben einerseits bei objektivem und andererseits bei subjektivem Weifszusatz ändert, so zeigt sich unter anderem folgendes."

„Gelbrot und Gelbgrün nähern sich bei objektivem Weifszusatze dem Urrot bzw. Urgrün[1], bei subjektivem Weifszusatze dagegen dem Urgelb."

„Violett nähert sich bei subjektivem und noch viel mehr bei objektivem Weifszusatze dem Urrot. Auch der Ton von Grünblau ändert sich bei beiden Arten des Weifszusatzes in der gleichen Richtung, nämlich in der Richtung eines weniger bläulichen Grün."

„Um die eigentümliche Tatsache zu erklären, dafs der objektive Weifszusatz auf Gelbrot und Gelbgrün einen entgegengesetzten Einflufs ausübt wie der subjektive Weifszusatz, mufs man sich dessen erinnern, dafs infolge der nutritiven Minderwertigkeit, welche der Rotgrünsinn gegenüber dem Gelbblausinn zeigt (man vgl. *Z. f. Psychol.* **14**, 369f.), eine Abschwächung eines gelbroten oder gelbgrünen Lichtes die Folge hat, dafs die Rötlichkeit bzw. Grünlichkeit gegenüber der Gelblichkeit mehr hervortritt. Dieser Einflufs der Lichtabschwächung auf den Farbenton der langwelligen Lichter ist bekanntlich so stark, dafs in einem Sonnenspektrum, dessen Lichtstärke sehr herabgesetzt ist, Rot und Grün unmittelbar aneinander zu stofsen scheinen. Wir können also sagen: der objektive Weifszusatz wirkt auf den Farbenton der kurzwelligen Lichter in der gleichen Richtung wie eine äufsere Abschwächung derselben."

„Hiernach liegen folgende Anschauungen nahe. Wenn wir den Einflufs des subjektiven Weifszusatzes auf den Farbenton untersuchen, so haben wir es mit einer Art unmittelbaren Einflusses des Weifs (der achromatischen Prozesse oder Erregungen) auf das Hervortreten der Farben zu tun. Derselbe geht dahin, innerhalb gewisser Grenzen bei zunehmender Weifslichkeit das Gelb gegenüber dem Rot oder dem Grün mehr hervortreten zu lassen. Bei dem objektiven Weifszusatze dagegen haben wir es aufser mit diesem unmittelbaren Einflusse auch noch mit einem mittelbaren Einflusse zu tun, d. h. einem Einflusse, den das weifse Licht insofern ausübt, als bei seiner Einwirkung auf die Netzhaut zugleich ein Vorgang eintritt, welcher die erregende Wirkung gleichzeitig gegebener chromatischer Lichtreize schwächer ausfallen läfst. Diese Herabsetzung der erregenden Wirkungen chromatischer Lichtreize wirkt in der gleichen Richtung wie eine physikalische Herabsetzung der betreffenden Lichter, macht sich also bei den langwelligen Lichtern im Sinne eines stärkeren Hervortretens des Rot oder des Grün gegenüber dem Gelb geltend. Allerdings ist nach den von Ihnen gefundenen Resultaten zur Kompensierung des schwächenden Einflusses, den ein bestimmter objektiver Weifszusatz auf den chromatischen Erregungseffekt ausübt, beim Gelb eine etwas (ungefähr im Verhältnisse 1,2 : 1,35) geringere Verstärkung des farbigen Lichtes nötig als beim Rot oder Grün. Dieser Unterschied kommt jedoch gegenüber dem starken Einflusse, den innerhalb der hier in Betracht kommenden Grenzen eine

[1] Dies trat auch bei meinen Versuchen hervor.

Schwächung der erregenden Wirkungen der langwelligen Lichter im Sinne eines deutlicheren Hervortretens das Rot oder Grün gegenüber dem Gelb ausübt, zu wenig in Betracht, so dafs die Richtung, in der sich der objektive Weifszusatz geltend macht, dieselbe bleibt wie diejenige, in der sich eine Herabsetzung der physikalischen Lichtstärke geltend macht."

„Was den Einflufs anbelangt, den ein objektiver Weifszusatz auf Violett ausübt, so geht, wie gesehen, der unmittelbare Einflufs des Weifs (der Einflufs eines subjektiven Weifszusatzes) dahin, die Rötlichkeit gegenüber der Bläulichkeit mehr hervortreten zu lassen. Da nun ferner, wie bekannt, eine physikalische Abschwächung von violettem Lichte den Farbenton gleichfalls im Sinne einer Annäherung an Urrot verändert, und überdies nach Ihren Resultaten der einem bestimmten objektiven Weifszusatze entsprechende Schwächungskoeffizient für Blau (etwa im Verhältnisse 2 : 1,4) gröfser ist als für Rot, so begreift sich vollkommen, dafs der Einflufs, den ein objektiver Weifszusatz auf Violett im Sinne eines stärkeren Hervortretens das Rot ausübt, so bedeutend ist, dafs selbst ein Blau, an welchem ein Stich ins Rötliche nicht erkennbar ist, durch objektiven Weifszusatz stark rötlich werden kann."

„Entsprechend wie beim Violett liegen die Verhältnisse in Beziehung auf die Wirksamkeit eines objektiven Weifszustandes beim Grünblau. Auch hier geht die Änderung, welche der Farbenton bei Herabsetzung der physikalischen Lichtstärke erfährt, in derselben Richtung (nach dem Urgrün hin) vor sich wie die von einem subjektiven Weifszusatze bewirkte Änderung des Farbentones. Nur lassen sich hier wegen der geringen Sättigung der zur Verfügung stehenden grünblauen Papiere alle in Betracht kommenden Vorgänge viel weniger deutlich beobachten als beim Violett."

„Es ist hier nicht der Ort, auf die quantitativen Verhältnisse der im vorstehenden erwähnten Erscheinungen (die Bedingungen, unter denen die erwähnten Wirkungen des objektiven oder subjektiven Weifszusatzes am deutlichsten hervortreten) und die bei einem Studium derselben benutzbaren Methoden und zu beachtenden Fehlerquellen näher einzugehen. Auch von einer Berücksichtigung der in Beziehung auf diese Erscheinungen vorliegenden Literatur mufste hier abgesehen werden. Ferner ist es auch nicht angezeigt, bereits gegenwärtig in eine nähere Diskussion derjenigen Vorgänge einzutreten, die ich im vorstehenden kurz als den unmittelbaren und den mittelbaren Einflufs des Weifs bezeichnet habe. Es handelt sich hier sowie bei Ihren Versuchen nur um ein kleines Kapitel aus dem reichen Gebiete der Wechselbeziehungen, die zwischen den achromatischen und den chromatischen Vorgängen unseres Sehorganes bestehen.

(Eingegangen am 29. September 1905.)

Irradiation der Gesichtsempfindung.

Von

Dr. F. P. Boswell.

Rochester, N. Y., U. S. A.

In den ersten Wintermonaten des Jahres 1904 war ich in dem psychologischen Laboratorium der Harvard-Universität mit Arbeiten über die Nachbilder bewegter Lichtquellen beschäftigt. Im Laufe dieser Untersuchungen wurden Erscheinungen beobachtet, die wie mir schien, durch Übertragung des Erregungszustandes der Nervensubstanz in dem Sehorgan oder, wie man gewöhnlich sagt, durch Irradiation der Gesichtsempfindung erklärt werden konnten. Diese Erscheinungen lassen sich wohl am besten beobachten, wenn man, während das Auge einen Punkt fixiert, das Bild eines leuchtenden Gegenstandes über die Netzhaut gleiten läfst. Der Beobachter sieht natürlich, wenn ein solcher Gegenstand sich an seinen Augen vorbeibewegt, einen sich bewegenden Lichtstreifen, dessen vorderer Rand annähernd die Gestalt des vorderen Randes des Gegenstandes bietet, während der Rest aus einer Reihe von Nachbildern besteht, die oft in Form, Farbe und Helligkeit wesentlich voneinander abweichen. Der Vorteil dieser wohlbekannten Versuchsanordnung liegt darin, dafs die zeitlichen Beziehungen zwischen den verschiedenen Phasen der Erregung der Netzhaut sich übertragen lassen auf die räumlichen Beziehungen zwischen den Teilen des bewegten Lichtstreifens. Da nämlich der leuchtende Gegenstand sich in einer Ebene vor dem Auge des Beobachters vorbeibewegt, so wird das Bild, dessen er sich zuerst bewufst wird, ihm auch räumlich auf der Ebene voranzustehen scheinen. Der Beobachter hat also in der Reihe der Nachbilder die verschiedenen Phasen des Erregungszustandes vor sich ausgebreitet. Die Erscheinungen, die wir beobachtet haben, beziehen sich indessen

nur auf eine Phase des Erregungszustandes. Sie betreffen die scheinbaren Veränderungen der Gestalt des vorderen Randes des bewegten Bildes.

Die leuchtenden Figuren, die als Erreger der Netzhaut gebraucht wurden, waren an dem Ende eines 2 m langen Pendels angebracht. Dieses Pendel bewegte sich in etwa 3 m Entfernung vor dem Auge des Beobachters hin und her. Die etwa 5 cm hohen Figuren wurden durch eine 15 cm lange Öffnung eines Schirms, der vor dem Pendel aufgestellt war, sichtbar. Das Bild der Öffnung in dem Schirm deckte auf der Netzhaut eine Winkelgröfse von etwa 3°. Die Bilder der Figuren, die allerdings verschieden grofs waren, deckten eine Winkelgröfse von nicht mehr als 1° auf der Netzhaut. Die erregenden Figuren waren auswechselbar und unterschieden sich beträchtlich nach Gestalt, Farbe und Helligkeit voneinander. Im Laufe der Versuche zeigte sich, dafs zur Beleuchtung der Figuren am besten ziemlich niedrige Lichtintensitäten, bei weifsem Licht etwa die Intensität einer elektrischen Lampe von 8 Kerzen abgeblendet durch 3—8 Schichten matten Glases, angewendet werden. Über und unter der Bahn des bewegten Lichtstreifens waren zwei helle Fixationspunkte angeordnet, und das Auge wurde auf einen zwischen diesen Punkten liegenden gedachten Punkt gerichtet.

Als nun das Pendel in Bewegung gesetzt worden war und die Figuren sich mit einer Geschwindigkeit von etwa 35 cm in der Sekunde vorbeibewegten, wurden gewisse Veränderungen in der Gestalt des vorderen Randes der bewegten Bilder bemerkt. Eine kreisförmige Scheibe (Fig. 1 a) erschien in der Form einer Mondsichel (Fig. 1 b). (Die Pfeile über den Figuren zeigen die

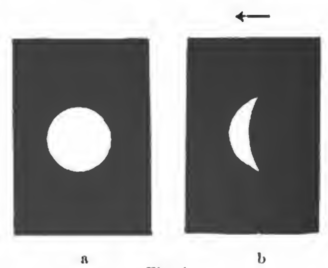
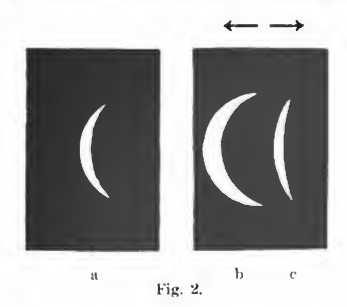


Fig. 1.

Bewegungsrichtung an,) und zwar erschien der vordere Rand der Sichel stärker gekrümmt als das Kreissegment, dessen Abbild er war, und die Entfernung von einer Spitze der Sichel zur anderen länger als der Durchmesser der kreisförmigen Scheibe. Die Spitzen waren von blassen Lichthöfen umgeben, die sich nach aufsen und hinten in den dunklen Hintergrund hinein erstreckten. von Kries bemerkt [1], dafs ein kreisförmiger bewegter Gegenstand als halbmondförmiges Bild mit konkavem hinteren Rand erscheint. Bei etwas erhöhter Geschwindigkeit der Bewegung konnten wir diese Erscheinung ebenfalls wahrnehmen. Dabei haben wir aber auch die schon erwähnte stärkere Krümmung des vorderen Randes, die vermehrte Höhe des Bildes und die seitlich nachschleppenden Lichtbüschel an den Spitzen der Sichel beobachten können.

Um womöglich den Einflufs der Gestalt der Figur auf die Form des Bildes festzustellen, wendeten wir mehrere Figuren von verschiedenen Formen an. Eine längliche an beiden Enden zugespitzte Figur nahm die Gestalt einer sehr stark gekrümmten Mondsichel an. An einer sichelförmigen Figur (Fig. 2a) zeigte sich eine sehr hübsche Erscheinung. Wenn die Sichel sich mit ihrer konvexen Seite nach vorn (Fig. 2b) bewegte, so erschien



a b c

Fig. 2.

sie bedeutend stärker gekrümmt, bewegte sie sich dagegen mit ihrer konkaven Seite voran, so erschien sie viel gestreckter als die wirkliche Figur (Fig. 2a). Eine einfache längliche Figur

[1] v. Kries. Über die Wirkung kurzdauernder Lichtreize auf das Sehorgan. *Diese Zeitschr.* 12, S. 88. 1896.

(Fig. 3a) zeigte ebenfalls eine Krümmung des vorderen Randes und erschien unter gewissen Bedingungen fast in Sichelgestalt.

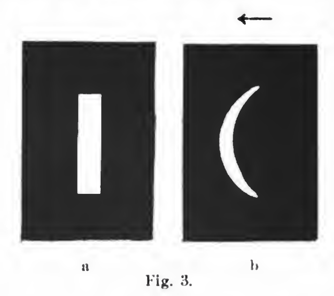


Fig. 3.

Unter den folgenden Voraussetzungen lassen sich, glaube ich, die scheinbaren Gestaltänderungen der Figuren erklären. Erstens müssen wir annehmen, dafs der Erregungszustand der Nervensubstanz des Sehorgans sich von einem Teil der Netzhaut oder dem entsprechenden Teil des Zentralorgans auf den anderen bis zu einem gewissen Grade überträgt. Jeder Punkt eines solchen Bildes wird dann nicht nur unmittelbar von der Lichtquelle gereizt werden, sondern der Reiz wird bis zu einem gewissen Grade von den umgebenden Punkten aus verstärkt werden. Ein in der Mitte des Bildes liegender Punkt wird also für eine solche Verstärkung der Erregung günstiger liegen als ein Punkt, der nach dem Rande des Bildes hingelegt ist. Denn hier ist jedes Bildteilchen nur von verhältnismäfsig wenigen anderen Teilchen umgeben, und diese liegen auch wesentlich nur in einer Richtung nämlich nach der Mitte des Bildes hin. Zweitens nehmen wir an, dafs, da ein Teil der Figur eine besonders intensive Erregung der Nervensubstanz hervorruft, dieser Teil dem Beobachter auch schneller als andere Teile der Figur zum Bewufstsein kommen wird. Dadurch würde die Wahrnehmung der einzelnen Teile sich der Zeit nach verschieben und scheinbare Formänderungen der bewegten Figuren entstehen.

Die längliche Figur zum Beispiel würde mit ihrer Mitte die Netzhaut am heftigsten erregen und die Erregung würde nach den Enden des Bildes zu abnehmen. Wenn also die Figur an dem Beobachter vorbeischwingt, würde die Mitte des Bildes, die

ihm zuerst zum Bewufstsein kommt, auch räumlich am weitesten vorn erscheinen, während die nach den Enden zu liegenden Teile des Bildes später gesehen, und daher räumlich weiter zurückverlegt werden würden. Schliefslich würden die Enden selbst zuletzt wahrgenommen werden und auch am weitesten zurückzuliegen scheinen, so dafs die ganze Figur nach vorn konvex gekrümmt erscheinen würde, wie es auch tatsächlich der Fall ist.

Dafs von zwei Lichtquellen verschiedener Intensität die hellere dem Beobachter schneller zum Bewufstsein kommt als die schwächere, ist ja selbstverständlich eine wohlbekannte psychologische Tatsache. In dem vorliegenden Fall aber handelt es sich darum zu zeigen, dafs auch Lichtquellen, die in der Intensität nur sehr wenig voneinander abweichen, verschieden schnell wahrgenommen werden. Mit blofsem Auge ist es nicht möglich, einen Unterschied in der Helligkeit der einzelnen Teile der angewendeten Figuren wahrzunehmen. Es müfste also, falls die von mir vorgeschlagene Erklärung der beobachteten Erscheinungen richtig ist, nachgewiesen werden können, dafs Lichtquellen, deren Helligkeitsunterschied so gering ist, dafs er mit blofsem Auge nicht wahrgenommen wird, doch nacheinander und zwar in der Reihenfolge ihrer Helligkeiten in das Bewufstsein des Beobachters treten.

Durch die folgenden Versuche glaube ich nun nachgewiesen zu haben, dafs von zwei Lichtquellen, deren Intensitätsunterschied nicht unmittelbar wahrgenommen werden kann, die lichtstärkere zuerst in das Bewufstsein des Beobachters tritt, und, es scheint mir sehr wahrscheinlich, dafs die scheinbare Krümmung der Figuren auf der stärkeren Erregung der Netzhaut durch die mittleren Teile des Bildes beruht, die durch die von den Enden des Bildes ausgehende Verstärkung des Erregungszustandes der Nervensubstanz hervorgebracht wird.

Erster Versuch.

In dem ersten Versuch wurden drei Punkte von etwa 5 mm Durchmesser, die senkrecht übereinander mit etwa 10 mm Abstand angeordnet waren, fixiert. An dieser Figur war keine Veränderung wahrzunehmen. Die Punkte bewegten sich an der Öffnung des Schirms genau senkrecht übereinander vorbei. Vermutlich war die Entfernung zwischen ihnen so grofs, dafs keine Übertragung des Erregungszustandes stattfinden konnte. Als aber

zwischen die beiden Endpunkte und den mittelsten noch je ein Punkt eingefügt worden war (Fig. 4a), erschien die Vorderseite der Punktreihe nicht mehr gerade, sondern ausgesprochen konvex, und zwar schien der mittelste Punkt etwa 10 mm vor den Endpunkten zu stehen (Fig. 4b). Der einzige Unterschied

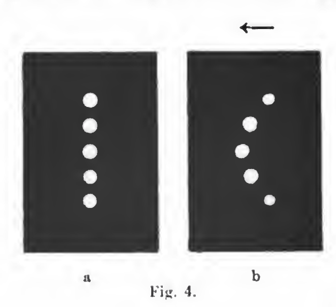


Fig. 4.

in den Bedingungen dieser beiden Versuche war der, dafs bei der zweiten Anordnung Irradiation vermutlich stattfinden konnte, bei der ersten nicht.

Zweiter Versuch.

Der zweite Versuch war eine Umkehrung des ersten und beweist, dafs wie ich angenommen hatte, auch Lichtquellen von fast gleicher Intensität doch verschieden schnell wahrgenommen werden. Es werden wieder wie vorher fünf Punkte fixiert, von denen aber die mittleren soweit verdunkelt werden, dafs die bewegte Figur nicht mehr gekrümmt, sondern senkrecht erschien. Dann wurde das Pendel angehalten und die Punktreihe genau betrachtet. Es liefs sich aber auf diese Weise kein Unterschied in der Helligkeit der mittleren und der Endpunkte wahrnehmen. Dann wurde der zweite und der vierte Punkt bedeckt, so dafs keine Übertragung des Erregungszustandes mehr stattfinden konnte, das Pendel wurde abermals in Bewegung gesetzt, und nun schien der mittelste Punkt, statt in einer Reihe mit den beiden Endpunkten zu stehen, beträchtlich hinter ihnen zurückzubleiben. (Fig. 5.)



Fig. 5.

Auch bei diesem Versuch war der einzige Unterschied in den Bedingungen der, dafs bei der ersten Anordnung Irradiation stattfinden konnte, bei der zweiten nicht mehr. In dem ersten Fall wurde vermutlich die Intensität des Bildes der mittleren Punkte durch Irradiation so verstärkt, dafs sie ebenso schnell wahrgenommen wurden, wie die helleren Endpunkte. In dem zweiten Fall waren dagegen die drei Punkte soweit voneinander entfernt, dafs Irradiation wohl unmöglich war. Daher schien der mittelste Punkt, der tatsächlich weniger hell war und daher etwas später wahrgenommen wurde, als die beiden Endpunkte, hinter diesen zurückzubleiben. Ferner wurde auch gefunden, dafs bei rechteckigen Figuren ebenso wie bei den Punktreihen durch passende Verdunkelung der Enden oder der Mitte die scheinbare Krümmung der Figuren vermehrt, ganz beseitigt oder auch in ihr Gegenteil verkehrt werden konnte.

Im Laufe weiterer Untersuchungen mit diesen Figuren wurde gefunden, dafs die Krümmung einer solchen Figur sich änderte, erstens mit der Geschwindigkeit ihrer Bewegung, zweitens mit der Intensität des Lichtreizes, drittens mit der Gröfse des Netzhautbildes und viertens mit dessen Farbe; eine Figur von bestimmter Farbe und Lichtstärke z. B. besafs einen anderen Grad von Krümmung als eine Figur von derselben Lichtstärke aber einer anderen Farbe.

Wenn die Annahme richtig ist, dafs die scheinbaren räumlichen Verschiebungen der Teile bewegter Figuren den Zeiträumen entsprechen, die diese Teile gebrauchen, um in das Bewufstsein des Beobachters zu gelangen, dann ist es denkbar, dafs von zwei Lichtquellen, die sich in der Helligkeit nur sehr wenig unterscheiden, die hellere um ein weniges schneller wahrgenommen wird als die dunklere. Man erhält auf diesem Wege zwar keine absoluten Werte für die Zeiträume, die nötig sind, damit eine gegebene Lichtquelle wahrgenommen werde, wohl aber würde hier eine sehr feine Methode zur Vergleichung der Zeiträume gegeben sein, die zur Wahrnehmung von Lichtquellen fast gleicher Intensität nötig sind.

Eine ausführlichere Beschreibung dieser Versuche findet der

Leser in einem von mir in den „Harvard Psychological Studies" in englischer Sprache veröffentlichten Aufsatz (Vol. VII der „Monograph Supplements of the Psychological Review).

Ich möchte nicht verfehlen, an dieser Stelle Herrn Professor Hugo Münsterberg und Herrn Prof. Edwin B. Holt von der Harvard Universität für ihre freundliche Unterstützung bei diesen Untersuchungen meinen verbindlichsten Dank auszusprechen. Auch den Herren Dr. Vaughan, Dr. Bell und Herrn Emerson, die mir bei den Versuchen als Beobachter dienten, sage ich meinen herzlichen Dank.

(Eingegangen am 15. Februar 1906.)

(Aus dem psychologischen Institut der Universität Göttingen.)

Über Lokalisation von Druckreizen der Hände bei verschiedenen Lagen der letzteren.

Von

Dr. Hans Rupp,
Assistent am psychologischen Institute.

Inhaltsverzeichnis.

Einleitung.

§ 1. Problemstellung.

Im Wintersemester 1903/4 schlug mir Herr Professor G. E. Müller folgendes Thema zur experimentellen Bearbeitung vor: „Wie verhalten sich die Zeiten, welche nötig sind, um bei geschlossenen Augen eine durch Berührung einer bestimmten Stelle einer Hand erzeugte Tastempfindung richtig auf die Hand zu lokalisieren, wenn letztere sich in verschiedenen Lagen befindet?“ In diesem Thema ist zunächst die Frage enthalten, wie sich die Lokalisation von Tasteindrücken bei verschiedenen Lagen der Hände verhält. Diese Frage ist bis jetzt noch nicht systematisch untersucht. Man beschränkte sich darauf, einige Täuschungen zu erwähnen, welche infolge einer unnormalen Lage der Finger oder Hände entstehen, wie die aristotelische Täuschung oder wie die Täuschung, welche Henri auf Seite 139 seines bekannten Buches: „Über die Raumwahrnehmungen des Tastsinnes“ erwähnt.

Eine erfolgreiche Behandlung der Frage scheint mir wenigstens in vielen Fällen erst möglich, wenn die Messung der Lokalisationszeiten zu Hilfe genommen wird, wie es in dem oben genannten Thema vorgeschlagen ist. Denn es besteht häufig ein aufserordentlich geringer Unterschied zwischen den Lokalisationsvorgängen zweier verschiedener Lagen, dessen Vorhandensein der Selbstbeobachtung leicht entgehen kann, oder welchen dieselbe nicht mit Sicherheit festzustellen vermag. Die Zeitmessung zeigt jedoch häufig in solchen Fällen ganz deutliche Differenzen an, und zwar mit objektiver Sicherheit. Ebenso lassen sich zwar in einigen Fällen aus gewissen Täuschungen wertvolle Aufschlüsse über die Lokalisationsvorgänge gewinnen. Aber auch diese Quelle würde allein nicht hinreichen. Denn erstens gibt es viele Lagen, bei denen keine Täuschungen vorkommen, und zweitens kommen Täuschungen gewöhnlich nur bei den ersten Versuchen einer Reihe vor, während uns die Zeitmessung auch für die späteren Versuche häufig deutliche Unterschiede der Dauer des Lokalisationsvorganges erkennen läfst. Aus dem Gesagten geht hervor, wie wichtig die Messung der Lokalisationszeiten für die Beant-

wortung der erwähnten Frage ist; sie scheint mir für eine erschöpfende Behandlung geradezu unentbehrlich zu sein.

Um nun die Zeitmessung durchzuführen, gab mir Herr Professor G. E. Müller folgende Versuchsanordnung an: Es ist eine bestimmte Hautstelle zu berühren und dadurch ein elektrischer Kontakt zu öffnen; die Vp. (Versuchsperson) hat die Berührungsempfindung insofern zu lokalisieren, als sie entscheidet, auf welchem Finger oder auf welcher Hand die berührte Stelle ihr zu liegen scheint; sie hat dann den betreffenden Finger oder die betreffende Hand zu nennen; und indem sie den Namen ausspricht, schliefst sie wieder einen Kontakt. Die nähere Beschreibung der Versuchsanordnung folgt weiter unten.

Da also die Hand und der Finger, auf welchen die berührte Stelle zu liegen scheint, genannt werden sollen, so spezialisiert sich das obige Thema zu folgendem: „Wie verhalten sich die Reaktionszeiten, welche nötig sind, um Hand oder Finger zu nennen, auf welchen die berührte Hautstelle liegt, falls die Hand sich in verschiedenen Lagen befindet?“ Natürlich werden nur die Reaktionszeiten für dieselbe berührte Hautstelle bei verschiedenen Handlagen miteinander verglichen. Führt man diese Vergleichung auch für andere Hautstellen durch, so besteht die weitere Frage, ob sich die Reaktionszeiten für dieselben bei den gleichen verschiedenen Handlagen ebenso zueinander verhalten, wie die Reaktionszeiten de früher betrachteten Hautstelle. Sobald man aber die Reaktionszeiten für verschiedene Hautstellen sucht, mufs man gleichzeitig Antwort erhalten, auf folgende, von dem obigen Thema zu unterscheidende Frage: „Wie verhalten sich die Reaktionszeiten verschiedener Hautstellen bei derselben Lage der Hand?“ und entsprechend der zuletzt angeführten Frage, mufs man zu diesem Thema die weitere Frage hinzufügen: „Ist das Verhältnis dieser Reaktionszeiten bei verschiedenen Lagen ein verschiedenes?“

Von den genannten 4 Fragen behandelt die vorliegende Arbeit nur die beiden ersten; die Beantwortung der zwei letzten Fragen, soweit sie auf Grund meiner Versuche möglich ist, werde ich in einer späteren Abhandlung geben.

§ 2. Versuchsanordnung.

Die äufsere Versuchsanordnung war so eingerichtet, dafs die Zeit vom Beginn der Berührung bis zum Beginn der sprachlichen Reaktion gemessen werden konnte.

Der Reiz wurde ausgeführt durch Berührung mit einer Kraepelinschen elektrischen Schreibfeder, in welcher sich beim Niederdrücken ein Kontakt öffnet. Die Berührung dauerte so lange, bis die Vp. die Hand oder den Finger genannt hatte. Gleichzeitig mit dem Aussprechen des betreffenden Wortes mufste sie einen Lippenschlüssel, welchen sie vorher mit der Lippe oder den Zähnen in die Höhe gedrückt hatte, fallen lassen, wodurch andererseits ein Kontakt geschlossen wurde. Mit diesen beiden Instrumenten war in üblicher Weise ein Hippsches Chronoskop so verbunden, dafs sein Zeigerwerk im Moment zu laufen begann, wo der Kontakt in der Schreibfeder geöffnet wurde, und so lange lief, bis sich der Kontakt im Lippenschlüssel schlofs.

Anmerkung: Um eine exaktere Öffnung des Kontaktes in der Schreibfeder zu erhalten, liefs ich das Instrument etwas abändern und gleichzeitig so einrichten, dafs es auch für Stromschliefsung benützt werden kann. In dieser Form wird es vom Mechaniker Spindler u. Hoyer in Göttingen für den Preis von 9,50 M. geliefert. — Als Lippenschlüssel habe ich ebenfalls das verbesserte Modell, wie es von Müller und Pilzecker bei den Gedächtnisversuchen benutzt wurde, verwendet.

Die berührende Spitze der elektrischen Feder war ursprünglich aus Metall; da aber mehrmals ausgeprägte Temperaturempfindungen entstanden, so wurde sie durch eine Hartgummispitze ersetzt. Sie war stumpf und hatte ungefähr 1,5 mm im Durchmesser, so dafs nicht einzelne Temperatur-, Schmerz- oder Druckpunkte allein gereizt werden konnten.

Grofse Sorgfalt verwendete ich darauf, die berührende Schreibfeder mit möglichst gleicher Stärke und Geschwindigkeit aufzudrücken. Dafs die Differenzen in der Geschwindigkeit und Stärke des Druckes, welche natürlich dennoch bestanden, zur Erklärung der verschiedenen Reaktionszeiten der einzelnen Lagen nicht herangezogen werden können, geht aus folgendem hervor: Erstens ist es wegen der gröfseren Anzahl der Versuche sehr wahrscheinlich, dafs sich die fraglichen Zufälligkeiten ausglichen. Zweitens wird die angegebene Erklärung dadurch unwahrscheinlich, dafs die Resultate für verschiedene Vpn. übereinstimmen. Endlich habe ich die Differenzen der durchschnittlichen

Reaktionszeiten zweier verschiedener Lagen A und B nur dann als wesentlich betrachtet, wenn die Reaktionszeiten jedes einzelnen der 5 Finger eine Differenz in demselben Sinne zeigten. Wollte man die Differenz der mittleren Lokalisationszeiten durch verschieden starken oder verschieden schnellen Druck erklären, so müfste man annehmen, dafs nicht nur in der Mehrzahl aller Fälle zusammen genommen, sondern auch in der Mehrzahl aller Berührungen jedes einzelnen Fingers bei der einen Lage der Hand stärker oder schneller gedrückt worden sei, als bei der andern Lage, was wohl als ausgeschlossen angesehen werden kann, umsomehr, wenn Gründe für andere Erklärungen vorliegen.

Eine andere Fehlerquelle bestand darin, dafs die zu berührenden Hautstellen nicht immer genau getroffen werden konnten. Dieselben Argumente aber, welche ich eben angeführt habe, um zu beweisen, dafs die kleinen Variationen der Stärke und Schnelligkeit des Druckes nicht imstande sind, die verschiedenen Reaktionszeiten zu erklären, zeigen gleichzeitig, dafs die verschiedenen Reaktionszeiten ebensowenig aus dieser Fehlerquelle erklärt werden können.

Ungefähr 2 Sekunden vor jeder einzelnen Berührung gab ich ein Zeichen, damit die Vp. ihre Aufmerksamkeit auf den kommenden Reiz richte. Dieses Avertissement bestand anfangs darin, dafs ich „jetzt“ oder „los“ sagte. Da ich jedoch Gefahr lief, durch dieses Sprechen die Stellung meines Kopfes und die Gegend, aus welcher der Reiz kommen werde, zu verraten, so ersetzte ich dieses Avertissement durch ein einmaliges Klopfen auf den Tisch. Selbstverständlich klopfte ich stets auf dieselbe Stelle des Tisches.

Eine ähnliche Gefahr bestand auch bei meinen Bewegungen der Arme und des Kopfes, die oft nötig waren, um zu der zu berührenden Stelle auf der Hand zu gelangen; ich führte sie daher so leise und vorsichtig als möglich aus. Tatsächlich gaben mir die Vpn. auf meine Frage hin stets an, dafs sie von diesen Bewegungen nichts gemerkt hatten.

Die Hände wurden in diejenige Lage, welche der Versuch erforderte, von der Vp. selbst bei geöffneten Augen gebracht. Bei unbequemen Lagen konnte die Vp. zwischen den einzelnen Versuchen die Hände in normale Lage bringen. Bei den ersten Versuchsreihen waren die Hände zwischen den Versuchen der Vp. sichtbar; später wurde dies durch einen Schirm verhindert.

Während der Versuche hatte die Vp. die Augen stets zu schliefsen.

§ 3. Instruktion der Versuchsperson.

Bezüglich des der Vp. vorgeschriebenen inneren Verhaltens ist nur ein Punkt hervorzuheben. Die Art der Vorbereitung war bei den ersten Versuchsreihen frei gestellt. Die Vp. konnte ihre Aufmerksamkeit auf die Hände richten, sich ein Bild derselben entwerfen, sich noch einmal vergegenwärtigen, wo die rechte und linke Hand, wo die einzelnen Finger lagen. Da aber dadurch die Möglichkeit vorhanden war, dafs die Aufmerksamkeit eine bestimmte Hand oder gewisse Finger oder die näher liegenden Partien gegenüber anderen begünstigte, so gab ich bei den späteren Versuchen die Instruktion, nicht an die Hand zu denken, sondern ganz passiv den Reiz zu erwarten, und liefs ferner die Aufmerksamkeit nicht auf die Partie des Raumes richten, in welcher die Hand lag, sondern ungefähr gerade nach vorne.

Im allgemeinen gelang diese Vorbereitung den Vpn. ganz leicht. Ich bezeichne sie im folgenden als passive Vorbereitung und werde in jeder Reihe angeben, ob sie vorgeschrieben war oder nicht.

§ 4. Aufbau der Versuchsreihen.

Um die Reaktionszeiten für eine bestimmte Lage zu erhalten, wurde natürlich eine gröfsere Anzahl von Versuchen bei dieser Lage ausgeführt.

Sollten die Reaktionszeiten mehrerer Lagen verglichen werden, so wurden an mehreren Versuchstagen dieselben Lagen geprüft und zwar in verschiedener Reihenfolge, damit der Einflufs der Übung ausgeschaltet wurde.

Der Wechsel der Lagen an den verschiedenen Versuchstagen, wie auch der Wechsel der Berührungsstellen war ein zufälliger. Jedoch habe ich bei der Reihenfolge der letzteren folgende Regeln eingehalten: Ich vermied es, dieselbe Stelle unmittelbar hintereinander mehrmals zu berühren. Ebenso berührte ich nie mehr als drei Finger ihrer natürlichen Reihenfolge nach (vom Daumen zum kleinen Finger oder umgekehrt); auch vermied ich eine gröfsere Anzahl von Berührungen in ein und derselben Handgegend, z. B. in der ulnaren Hälfte. Die Anzahl der Ver

suche, die in einer Sitzung ausgeführt wurden, variierte von 30—60. Diese Anzahl war an allen Versuchstagen derselben Versuchsreihe konstant. Die Dauer einer Sitzung betrug gewöhnlich $^1/_2$ Stunde. Wenn die Vp. jedoch viele Selbstbeobachtungen zu Protokoll geben konnte, so dehnte sie sich bis zu $1^1/_2$ Stunden aus.

§ 5. Die zur Berührung kommenden Hautstellen und ihre Bezeichnungen.

Es wurden im Maximum 19 Stellen auf der Volarseite und ebensoviele auf der Dorsalseite jeder Hand berührt: zunächst die 14 Fingerglieder, jedes in der Mitte des Gliedes in gleichen Abständen von den beiden Gelenken, bzw. von dem Gelenk und der Spitze des Fingers; die Dorsalseite des Spitzengliedes wurde etwas unterhalb des Nagels berührt. Aufser den Gliedern der Finger berührte ich auf der Volarseite der Hände die Mitte des Ballens jedes Fingers, also jene Stellen der Mittelhand, welche in der Verlängerung der Längsachse der Finger liegen, beim Daumen 2 cm, bei den anderen Fingern 1 cm vom Rande der Mittelhand entfernt. Entsprechend diesen Stellen der Innenseite berührte ich auf der Rückseite die Mittelhand-Fingergelenke, und zwar ungefähr die höchsten Punkte derselben.

Als Namen für die einzelnen Glieder habe ich den Vpn., falls überhaupt das Glied, auf welchem die Berührung zu liegen schien, zu nennen war, die Ausdrücke „erstes“, „zweites“, „drittes Glied“ vorgeschrieben; der Ausdruck „erstes Glied“ sollte das Grundglied, „zweites Glied“ das Mittelglied, beim Daumen das Spitzenglied, der Ausdruck „drittes Glied“ das Spitzenglied der vier Finger aufser dem Daumen bedeuten. Entsprechend diesen Benennungen gebrauche ich im folgenden die Bezeichnungen I., II., III. Glied. Für die Ballen und die ihnen entsprechenden Partien auf der Dorsalseite verwendete ich der Einfachheit halber denselben Ausdruck „Ballen“ und im Text die Abkürzung „*B*“.

Die Finger hatten die Vpn. mit den Namen „Daumen“, „Zeigefinger“, usw. zu bezeichnen, und nicht mit „erster Finger“, „zweiter Finger“ usw. Der Kürze wegen werde ich im folgenden die Bezeichnungen „1“ für den Daumen, „2“ für den Zeigefinger usw. gebrauchen.

Zur Benennung der Hände dienten die Ausdrücke „rechte Hand, linke Hand“ oder kurz „rechts, links“. Im Text benütze

ich wieder die Abkürzungen „*r*“ und „*l*“. Demnach bedeutet z. B. „2 *r* II“ das Mittelglied des Zeigefingers der rechten Hand und zwar, wie oben angegeben, die Mitte des genannten Gliedes. Ist im folgenden die berührte Stelle eines Fingers nicht näher angegeben, so ist immer das Spitzenglied berührt worden.

Bei Versuchen mit einfacher Reaktion, welche zur Deutung der bei den Lokalisationsversuchen erhaltenen Resultate nötig waren, liefs ich mit der Silbe „pa“ oder „ta“ reagieren.

Alle eben genannten Reaktionsworte wurden von der Vp. in einer genügenden Anzahl von Vorversuchen eingeübt.

§ 6. Die von mir verwendeten Lagen einer und beider Hände.

Um nicht später durch eine lange Beschreibung der einzelnen von mir verwendeten Lagen der Hände die Übersicht zu stören, will ich sie hier beschreiben und die Bezeichnungen angeben, die ich für sie gebrauchen werde.

Die Lagen, von welchen in dieser Abhandlung die Rede ist, haben das Gemeinsame, dafs die Reihenfolge der Finger immer die normale ist, dafs also anomale Fingerlagen, wie die des Aristotelischen Versuches, nicht unter ihnen vorkommen.

Was die von mir verwendeten Lagen einer Hand betrifft, so haben zwei derselben bereits feste Bezeichnungen: Die Pronations- und die Supinationslage. In beiden sind Unterarm und Finger nach vorne gestreckt, die Handfläche liegt horizontal, im ersten Falle mit der Dorsalseite, im letzten Falle mit der Volarseite nach oben gewendet.

Es gibt noch eine dritte Lage mit annähernd horizontaler Handfläche und nach vorne gerichteten Fingern, bei welcher ebenfalls die Volarseite nach oben steht; man erhält sie aus der Pronationslage, indem man Hand und Unterarm so dreht, dafs sich der Daumen im Bogen nach unten und aufsen bewegt. Diese ziemlich anstrengende Lage will ich als abnormale Supinationslage bezeichnen.

Analoge Lagen lassen sich ausführen, wenn der Unterarm und die Finger nicht nach vorne, sondern nach rechts oder links zeigen.

Einfacher als durch schleppende Namen lassen sich diese wie alle folgenden Lagen durch entsprechende schematische Bezeichnungen charakterisieren. Ein Pfeil soll die Hand vom

Handgelenk bis zur Spitze der Finger darstellen, und zwar soll die Spitze des Pfeiles die Spitze der Finger bedeuten. Die Richtung des Pfeiles zeigt an, nach welcher Seite die Hand gerichtet ist; durch einen Zusatz, der andeutet, welcher Finger, bzw. welche Seite der Hand oben liegt, wird die Charakteristik der Lage vervollständigt. So würde sich für die Pronationslage die schematische Bezeichnung ergeben: ↑ Dors. oben, für die Supinationslage: ↑ Vol. oben, und für die abnormale Supinationslage: ↑ Vol. oben abn. Die zuletzt erwähnten Lagen mit seitlich gerichteter Hand stellen sich so dar: → oder ← mit einem entsprechenden Zusatz, der angibt, welche Seite der Hand oben liegt.

Neben den Lagen mit horizontaler Handfläche verwendete ich häufig Lagen mit vertikaler Handfläche, und zwar sowohl bei horizontal nach vorne, wie auch bei horizontal seitlich gestrecktem Unterarm und ebenso gerichteten Fingern. Die Lage mit horizontal nach vorne gestrecktem Arm und Fingern erhält man aus der Pronationslage, indem man die Hand um 90° entweder so dreht, dafs der Daumen oben liegt, oder so, dafs der kleine Finger oben liegt. Genau dasselbe kann man bei seitwärts gerichtetem Arm und Fingern durchführen. Schematisch bezeichnen sich diese Lagen in folgender Weise: ↑ 1 oben, ↑ 5 oben, ⇄ 1 oben, ⇄ 5 oben.

Wenn man von der abnormalen Supinationslage absieht, so ergeben sich sowohl bei vorwärts, sowie auch bei seitwärts gerichtetem Unterarm je 4 Lagen, welche sich durch Drehung der Hand um je 90° ineinander überführen lassen. Dieselben 4 Lagen lassen sich ausführen, wenn man den Unterarm und die Finger nach oben gerichtet hält. Ich liefs dabei nicht den ganzen Arm gestreckt nach oben halten, sondern nur den Unterarm, während der Oberarm nach abwärts gerichtet war und mit dem Unterarm einen sehr spitzen Winkel bildete.

Um diese 4 Lagen zu charakterisieren und schematisch zu bezeichnen genügt es anzugeben, welche Seite oder welcher Finger dem Gesicht zugekehrt ist.[1] Die vollständige schema-

[1] Die Richtung des Pfeiles bedeutet jetzt die Richtung der Hand in der Frontalebene, während sie früher die Richtung in der Horizontalebene bedeutete. Auch dieser Unterschied ergibt sich aus dem Zusatz, indem im einen Falle angegeben ist, welche Seite oder welcher Finger oben liegt, im anderen Falle, welche Seite oder welcher Finger dem Gesicht zugekehrt ist.

tische Bezeichnung der betreffenden 4 Lagen ist folgende: ↑ 1 zugekehrt, ↑ 5 zugekehrt, ↑ Vol. zugekehrt und ↑ Dors. zugekehrt. Von den beiden möglichen Lagen, in welchen der kleine Finger dem Gesicht zugekehrt ist, ist nur die bequemere gerechnet.

In ähnlicher Weise kann man 4 Stellungen, welche sich durch Drehung um je 90° unterscheiden, auch bei nach hinten gestrecktem Arm ausführen. Zu diesen kommt noch eine fünfte Lage hinzu, da wie bei nach vorne gestrecktem Arme zwei Supinationslagen möglich sind, von welchen ich wieder die unbequemere als abnormale Supinationslage bezeichne. Als Schemen für diese Lagen gebrauche ich die folgenden: ↓ 1 oben, ↓ 5 oben, ↓ Vol. oben, ↓ Dors. oben und ↓ Vol. oben abn. Ich bezeichne jene hintere Lage als die analoge zu einer bestimmten vorderen Lage, die man aus dieser erhält, wenn man den vorgestreckten Arm in der horizontalen Ebene erst seitlich, dann nach hinten bewegt, ohne die Lage der Hand relativ zum Arm zu ändern.[1]

Die einfachste Lage beider Hände erhält man, wenn man die Hände nach vorne streckt und nun irgend eine der früher beschriebenen 4 Lagen bei vorgestreckten Armen einnehmen läfst. Ich verwendete nur die Lage, bei welcher die Daumen oben liegen; ich bezeichnete sie nach Vorschlag von Prof. G. E. Müller als Parallelstellung, weil die Handflächen parallel liegen. Schematisch bezeichne ich sie in folgender Weise: ↑↑ 1 oben.

Die übrigen Lagen beider Hände, welche ich verwendete, haben das Gemeinsame, dafs sich die Hände berühren und kreuzen; ich unterscheide zwischen Handkreuzung und Fingerkreuzung. Bei der Handkreuzung liegen die Hände in der Weise schief übereinander, dafs sie sich an den Gelenken kreuzen. Stellt man die Hand vom Gelenk bis zu den Fingerspitzen wieder durch einen Pfeil dar, so ist das Schema dieser Handkreuzung bei schief nach vorne liegenden Händen folgendes: ↖↗. Die Fingerkreuzung erhält man dadurch, dafs man die Finger der einen Hand zwischen die Finger der anderen Hand hindurchsteckt; die Finger kreuzen sich an ihren Grundgliedern.

---

[1] Auf diese Weise gehört zur normalen Supinationslage vorne die abnormalere Supinationslage hinten und umgekehrt zur abnormalen Supinationslage vorne die normalere der beiden möglichen Supinationslagen hinten.

Das Schema dieser Fingerkreuzung sieht so aus: ⤨ und unterscheidet sich von dem Schema für Handkreuzung durch die Lage des Kreuzungspunktes. Bei diesen Schemen ist es also wesentlich, zu beachten, dafs der Pfeil die Hand vom Gelenk an bis zur Spitze vorstellt. Bei der Handkreuzung können die Hände jede der vier oben beschriebenen Lagen bei vorgestreckten Unterarmen und Fingern einnehmen. Ich verwendete nur die Lage mit oben liegenden Daumen und die mit oben liegendem kleinen Finger. Diese Lagen werden in folgender Weise bezeichnet: ⩔ 1 oben und ⩔ 5 oben. Bei der Fingerkreuzung können die Hände nur so liegen, dafs entweder die Daumen oder die kleinen Finger oben sind. Ich verwendete nur die erste Lage; das Schema derselben ist folgendes: ⤨ 1 oben. Es gibt analoge Lagen bei schief nach oben und schief nach hinten gerichteten Unterarmen und Fingern. Ich benützte nur die Handkreuzung hinter dem Rücken mit oben liegenden Daumen; sie hat das Schema: ⩓ 1 oben. Bei allen Handkreuzungslagen beobachtete ich die Regel, dafs der rechte Arm über dem linken lag; und bei der Fingerkreuzungslage, die ich verwendete, liefs ich den Daumen der rechten Hand oben liegen.

Endlich habe ich noch 2 Lagen beider Hände zu erwähnen, in welchen Hand- und Fingerkreuzung vorkommen. Ich bezeichne sie als Hand-Finger-Kreuzungslagen im Anschlufs an Ed. Müller.[1] Um die erste dieser Lagen zu erhalten, geht man von der Handkreuzung mit oben liegendem kleinen Finger aus, beugt die Hände und die Finger nach innen gegeneinander und kreuzt die Finger in der früher beschriebenen Weise. Ich liefs bei meinen Versuchen so kreuzen, dafs der kleine Finger der linken Hand oben zu liegen kam. Die zweite Hand-Fingerkreuzung erhält man aus der eben genannten, wenn man den ganzen Komplex der beiden Hände und Unterarme um eine durch beide Ellbogen gehende Achse so dreht, dafs sich die Fingerspitzen erst nach unten, dann gegen die Brust und schliefslich nach aufwärts bewegen. Wenn man wieder berücksichtigt, dafs im Schema der Pfeil die Hand vom Handgelenk an darstellt, so sieht das Schema für die beiden Hand-Finger-

[1] Über eine einfache Methode zur Unterscheidung organisch und psychisch bedingter Sensibilitäts- und Motilitätsstörungen. *Berlin. klin. Wochenschrift* 1903.

kreuzungen so aus: ɣ [1]. Um die beiden Lagen zu unterscheiden, setze ich für die erste Lage das Wörtchen „hor." hinzu, da bei dieser Lage die Unterarme und die Finger horizontal liegen; für die zweite Lage das Wörtchen „vert.", da hier die Unterarme und die Finger vertikal nach oben gerichtet sind. Man kann die beiden Lagen auch als horizontale und vertikale Hand-Fingerkreuzung bezeichnen. Die letztere dieser Lagen ist von HENRI in dem oben genannten Werke auf Seite 139 beschrieben. Er erwähnt eine Täuschung, auf deren theoretische Verwertbarkeit ihn Herr Prof. G. E. MÜLLER aufmerksam gemacht hatte. Um einen kurzen Namen für diese wichtige Stellung zu haben, will ich sie daher als MÜLLERsche Stellung bezeichnen.

Zum Schlufs mufs ich noch erwähnen, dafs ich bei allen Lagen Berührungen der Hände miteinander, sowie auch mit der Unterlage, auf welcher die Arme ruhten, so viel als möglich vermieden habe. Die Vpn. mufsten daher die Finger spreizen, und zwar leicht, nicht krampfhaft, und strecken, so dafs dieselben bei der Finger- und bei der Hand-Fingerkreuzung nicht den Rücken der anderen Hand berührten. Die Hand selbst lag stets frei, blofs der Unterarm war unterstützt. Nur bei der MÜLLERschen Stellung war letzteres nicht möglich.

Aufser den Lagen, die ich hier beschrieben habe, benützte ich vorübergehend noch die eine oder andere Lage; diese werde ich aber erst später beschreiben, wenn ich die betreffenden Resultate hereinziehen mufs.

Erster Abschnitt.

Vergleichung verschiedener Handlagen vor der Brust.

Wie in der Einleitung erwähnt, ist es der Zweck der vorliegenden Arbeit, zu zeigen, wie grofs die Reaktionszeiten bei Berührung derselben Stellen der Hände sind, wenn die letzteren sich in verschiedenen Lagen befinden, und ob das Verhältnis der Reaktionszeiten, die man bei Berührung einer bestimmten Hautstelle für verschiedene Handlagen erhält, gleich ist dem

---

[1] Das Zeichen ist im Druck nicht ganz richtig wiedergegeben, es sollte unten keine Rundung haben, sondern die beiden Pfeile sollten ein Eck bilden.

Verhältnis der Reaktionszeiten, die bei Berührung einer anderen Hautstelle für dieselben verschiedenen Handlagen resultieren. Um diese Fragen einigermafsen erschöpfend zu beantworten, untersuchte ich eine gröfsere Anzahl von Lagen, die möglichst voneinander verschieden waren. Dieselben lassen sich in zwei Gruppen teilen: Die erste umfafst verschiedene Lagen einer oder beider Hände vor der Brust, die zweite Gruppe umfafst einige Handlagen hinter dem Rücken, welche ich mit den ihnen analogen Lagen vor der Brust verglich. Dieser Einteilung entsprechend gebe ich die Besprechung der Lagen in zwei Teilen und wende mich sofort zur Vergleichung der Reaktionszeiten verschiedener Handlagen vor der Brust.

Kapitel I.

Resultate der Zeitmessung.

§ 7. Für die ersten Versuchsreihen, welche ich überhaupt ausführte, hatte ich einige möglichst voneinander verschiedene Handlagen vor der Brust ausgewählt. Die Tabellen I und II geben die Resultate, welche ich dabei erhalten habe, und zwar sind in den Spalten, welche als Überschrift den Namen eines Fingers tragen, die mittleren Reaktionszeiten aller Berührungen dieses Fingers angeführt, gleichgültig an welchem Glied die Berührung stattgefunden hat. Wegen der geringen Zahl der Versuche habe ich die Reaktionszeiten der analogen Stellen beider Hände zusammengerechnet.

Anmerkung: Es wäre unrichtig gewesen, die mittleren Reaktionszeiten z. B. für einen Finger bei bestimmter Lage so zu berechnen, dafs man sämtliche bei den Berührungen dieses Fingers erhaltenen Zeiten zusammenzählte und die Summe durch die Anzahl der Berührungen dividierte. Es kam gelegentlich vor, dafs für die eine Berührungsstelle weniger gültige Reaktionszeiten vorhanden waren als für eine andere, indem einige Versuche z. B. wegen der Nennung eines falschen Fingers oder der unrichtigen Hand gestrichen werden mufsten [1]; es hätte also diejenige Berührungsstelle, für welche weniger gültige Versuche vorhanden waren, mit ihrer charakte-

[1] Es versteht sich von selbst, dafs nur jene Reaktionen gerechnet wurden, bei welchen richtig reagiert wurde. Denn es handelt sich bei diesen Versuchen um die Zeiten, welche zur richtigen Erkennung des Fingers, der Hand usw. nötig sind. Nur bei der Gliednennung machte ich eine Ausnahme von dieser Regel, weil ich zuviele Versuche hätte streichen müssen.

ristischen Reaktionszeit einen geringeren Einflufs auf die mittlere Reaktionszeit des Fingers gehabt als die anderen berührten Stellen. Man mufs vielmehr zuerst die mittlere Reaktionszeit für jede der 19 Berührungsstellen berechnen und erst aus diesen Zahlen das Mittel für jeden Finger suchen.

Tabelle (Reihe) I, Vp. Prof. Müller.

Verschiedene Lagen beider Hände vor der Brust. Es wurden alle Glieder und die Ballen auf der Dorsalseite berührt, und zwar alle 19 Stellen jeder Hand bei jeder Lage einmal. Die Reaktionszeiten der analogen Stellen beider Hände sind zusammengezogen, also $n = 8$ bzw. 6 für jeden Finger. 9 Versuchstage, an jedem kamen alle Lagen mit 3 bis 4 Berührungen vor. Art der Vorbereitung war freigestellt.

	Finger-, Hand- und Gliednennung					
Lage	Daumen	Zeigef.	Mittelf.	Ringf.	kl. Fing.	Ar. Mittel
↑↑ 1 oben	756	1257	1942	1452	737	1229
✕ 1 oben	992	2234	3496	2133	1480	3105
V 5 oben	2084	2309	2249	1732	2605	2196
ɣ hor.	1143	2142	4994	3691	3601	3114
ɣ vert.	2733	6288	5242	4992	5215	4894

Tabelle (Reihe) II, Vp. Fröbes.

Versuchsanordnung genau dieselbe wie in der Reihe I.

	Finger-, Hand- und Gliednennung					
Lage	Daumen	Zeigef.	Mittelf.	Ringf.	kl. Fing.	Ar. Mittel
↑↑ 1 oben	692	813	929	1005	721	832
✕ 1 oben	828	942	1091	1259	890	1020
V 5 oben	1118	915	1370	1247	1040	1138
ɣ hor.	848	1112	1436	1428	1303	1226
ɣ vert.	897	982	1385	1439	1323	1205

Die Spalte mit der Überschrift „arithmetisches Mittel“ gibt das Mittel zwischen den mittleren Reaktionszeiten aller Finger für die betreffenden Lagen an, also das Mittel der in derselben Zeile links danebenstehenden fünf Zahlen. Diese Mittelwerte

gebrauche ich im folgenden als mittlere Reaktionszeiten der ganzen Lage.

Vergleichen wir in den beiden ersten Tabellen die entsprechenden Zahlen verschiedener Lagen, so sieht man zunächst, dafs sie erheblich voneinander differieren. Bei genauerer Betrachtung bemerkt man ferner folgende Gesetzmäfsigkeit: geht man von einer Lage mit kleinerem arithmetischen Mittel zu einer mit gröfserem über, so zeigen im allgemeinen auch die Zahlen für die einzelnen Finger eine Verschiedenheit in demselben Sinne wie die arithmetischen Mittel.[1] Dadurch gewinnen diese sehr an Bedeutung und Wert. Ist z. B. das Mittel für eine Lage gröfser als für eine andere, so bedeutet das nicht nur, dafs der Durchschnitt aller Reaktionszeiten bei der einen Lage gröfser ist als bei der anderen, sondern dafs auch die mittleren Reaktionszeiten der einzelnen Finger im allgemeinen bei der ersten Lage gröfser sind, wenn auch die Differenzen nicht für alle Finger denselben Wert haben. Stünde die Sache so, dafs bei der Lage, welche das gröfsere arithmetische Mittel besitzt, der eine Finger eine gröfsere, der andere eine kleinere Reaktionszeit hätte als derselbe Finger bei einer anderen Lage mit kleinerem Mittel, dann hätten die arithmetischen Mittel überhaupt kaum einen Wert, wir müfsten vielmehr stets die Reaktionszeiten der einzelnen Finger betrachten. In unserem Falle aber brauchen wir nur die Mittel anzuführen; denn was von diesen gilt, gilt im allgemeinen auch von den Reaktionszeiten jedes einzelnen Fingers.

§ 8. Noch einen sehr wichtigen Vorteil ziehen wir aus der erwähnten Gesetzmäfsigkeit: Sie gibt uns ein sehr einfaches Kriterium an die Hand, durch welches wir ohne weitere Rechnung bestimmen können, ob die Differenz, welche die Mittel zweier Lagen zeigen, eine wesentliche oder zufällige ist. Wir können dieselbe dann als wesentlich ansehen,

---

[1] Die Mittel der einzelnen Lagen stehen ungefähr in demselben Verhältnis, wenn man die Reaktionszeiten, welche bei Berührung der Ballen erhalten wurden, nicht mitrechnet. Die so resultierenden Zahlen der 5 Lagen für die Vp. Herr Prof. G. E. Müller sind: 1043, 1719, 2090, 3015, 3997, für Vp. Fröbes: 750, 954, 1098, 1117, 1106. Ich erwähne dies, weil es vielleicht befremdlich erscheinen wird, bei Berührung der Ballen bestimmen zu lassen, welcher Finger berührt sei, da die Ballen nicht zu den Fingern gehören. Tatsächlich machten die Vpn. wiederholt ähnliche Bemerkungen.

wenn die Reaktionszeiten aller einzelnen Finger in demselben Sinne verschieden sind wie die arithmetischen Mittel, oder wenn dies wenigstens von 3 oder 4 Fingern gilt, und die anderen Finger keine oder nur eine geringe Differenz in entgegengesetztem Sinne zeigen.[1] Ich bediene mich bei der Diskussion der Tabellen durchaus dieses Kriteriums, welches gegenüber anderen den Vorzug hat, dafs es kein Gaussches Fehlergesetz voraussetzt, dafs es bei sehr kleinen n anwendbar ist, und dafs es überdies aufserordentlich einfach ist.

Wenn wir die mittleren Reaktionszeiten der verschiedenen Lagen, welche ich in den Reihen I und II erhalten habe, deuten wollen, so müssen wir folgendes beachten: Die Vp. hatte die Instruktion, dann zu reagieren, wenn sie mit Sicherheit angeben konnte, auf welchem Finger, auf welcher Hand und auf welchem Glied die Berührungsstelle liege. Das Reaktionsurteil war also zusammengesetzt, und die Reaktionszeiten sind infolge dessen mehrdeutig. Wenn für eine bestimmte Berührungsstelle die Reaktionszeit bei einer Lage B länger ist als bei einer Lage A, so könnte dies entweder darin liegen, dafs die Fingerbestimmung, oder darin, dafs die Handbestimmung, oder endlich darin, dafs die Gliedbestimmung bei der ersteren Lage längere Zeit beanspruchte. Ebenso kann der Grund dafür, dafs die Reaktionszeiten für eine Berührungsstelle P länger sind als für eine andere Stelle Q bei derselben Lage der Hand, entweder in der Finger- oder in der Hand- oder in der Gliedbestimmung gelegen sein. Letztere Frage gehört jedoch nicht zum Thema der vorliegenden Arbeit.

Um die erstere zu entscheiden, war es nötig neue Versuchsreihen anzustellen. In den einen derselben wurde blofs der Finger, in den anderen nur die Hand bestimmt. Auf die Untersuchung der verschiedenen Dauer der Gliedbestimmung bei verschiedenen Lagen ging ich nicht weiter ein. Ferner beschränkte ich mich in allen folgenden Versuchen auf die Berührung der Spitzenglieder; die Resultate gelten daher nur für die betreffenden Berührungsstellen. Mit einer Ausnahme waren die Vpn., mit denen ich die folgenden Reihen anstellte, andere als die Vpn. der beiden ersten Reihen. Da aber bei den neuen

[1] Dafs solche von der Regel abweichende Werte vorkamen, erklärt sich vollständig aus der geringen Zahl der Versuche.

Versuchen die Resultate verschiedener Vpn. meistens übereinstimmten, so konnte ich annehmen, daſs auch die Vpn. der ersten Reihen dieselben Resultate geliefert hätten, falls die neuen Versuche mit ihnen angestellt worden wären, umsomehr dann, wenn das innere Verhalten bei der Entscheidung, welches ich später besprechen werde, ein ähnliches war.

§ 9. Ich gehe nun auf die einzelnen Lagen ein und vergleiche zunächst die Lagen ↑↑ 1 oben und ⤧ 1 oben. Die Tabelle I zeigt die Werte 1229 und 3105, die Tabelle II die Werte 832 und 1020 σ. In beiden Fällen ist also eine beträchtliche Differenz vorhanden, welche nicht zufällig ist, da sämtliche Finger eine ziemlich bedeutende Differenz in demselben Sinne aufweisen. In den Tabellen III bis VII sind unter anderem die Reaktionszeiten angegeben, welche fünf verschiedene Vpn. bei denselben zwei Lagen lieferten, als sie nur den Finger zu nennen hatten, und in den Tabellen III bis V die Reaktionszeiten, welche drei Vpn. lieferten, als sie nur die Hand zu nennen hatten. Betrachten wir zunächst die Zeiten für die Fingerbestimmung, so sehen wir, daſs für die Vpn. Prof. Müller und Jacobs die

Tabelle (Reihe) III, Vp. Prof. Müller.

Verschiedene Lagen beider Hände vor der Brust. Es wurden die Dorsalseiten der Spitzenglieder berührt, und zwar die beiden analogen Stellen beider Hände zusammen je 3 mal bei der Fingerbestimmung [1], 4 mal bei der Handbestimmung, also $n = 3$ bzw. 4. Die Zeiten der analogen Berührungsstellen beider Hände sind zusammengezogen. Je ein Versuchstag für Fingerbestimmung und für Handbestimmung. Es war passive Vorbereitung vorgeschrieben, die Vp. blickte innerlich gerade vor sich hin auf einen Punkt der gegenüberliegenden Wand.

Lage	Fingernennung						Handnennung					
	Daumen	Zeigef.	Mittelf.	Ringf.	kleiner Finger	Ar. Mittel	Daumen	Zeigef.	Mittelf.	Ringf.	kleiner Finger	Ar. Mittel
↑↑ 1 oben	736	922	763	996	694	822	671	594	474	509	522	554
↖↗ 1 oben	633	975	1094	1074	576	870	1195	848	733	851	1119	949
⤧ 1 oben	1354	1166	1477	974	594	1113	1281	837	825	1024	876	968

[1] An einem zweiten Versuchstage, an welchem ich dieselben Versuche für Fingerbestimmung wiederholte, war die Vp. ermüdet und lieferte andere Resultate; die Mittel für die 3 Lagen waren: 838, 873 und 818 (vgl. § 20).

Tabelle (Reihe) IV, Vp. Frau Dr. Rupp.

Verschiedene Lagen vor der Brust. Es wurde die Dorsalseite der Spitzenglieder berührt, jede Stelle jeder Hand bei jeder Lage 3 mal. Die Reaktionszeiten der analogen Stellen beider Hände sind zusammengezogen, also $n = 6$ für jeden Finger. 4 Versuchstage, an zweien war der Finger, an zweien die Hand zu nennen; an jedem Tage kamen alle 3 Lagen vor mit je 15 Versuchen. Es war passive Vorbereitung vorgeschrieben. Dieselbe Reihe wurde einmal wiederholt; dieser zweiten Reihe entspricht die untere Hälfte der Tabelle.

Lage	Fingernennung						Handnennung					
	Daumen	Zeigef.	Mittelf.	Ringf.	kleiner Finger	Ar. Mittel	Daumen	Zeigef.	Mittelf.	Ringf.	kleiner Finger	Ar. Mittel
↑↑ 1 oben	455	502	1019	874	500	670	330	306	346	364	286	326
↖↗ 1 oben	487	633	1061	990	593	752	840	598	438	510	540	585
⤧ 1 oben	506	551	733	746	535	614	1047	903	912	1232	1398	1098
↑↑ 1 oben	393	532	978	1112	533	709	331	349	387	258	294	323
↖↗ 1 oben	520	605	1195	878	534	746	510	467	447	451	669	509
⤧ 1 oben	407	488	700	1164	527	657	541	442	734	878	553	629

Tabelle (Reihe) V, Vp. Dr. Brunswig.

Verschiedene Lagen beider Hände vor der Brust. Es wurde die Dorsalseite der Spitzenglieder berührt, und zwar jede Stelle jeder Hand bei jeder Lage 3 mal. Die Reaktionszeiten der analogen Stellen beider Hände sind zusammengezogen, also $n = 6$ für jeden Finger. 6 Versuchstage, an zweien Finger-, an zweien Handbestimmung und an zweien einfache Reaktion. An jedem Tage kamen alle 3 Lagen vor mit je 15 Berührungen. Es war passive Vorbereitung vorgeschrieben und bei den Versuchen mit einfacher Reaktion aufserdem sensorische Einstellung.

Lage	Fingernennung						Handnennung					
	Daumen	Zeigef.	Mittelf.	Ringf.	kleiner Finger	Ar. Mittel	Daumen	Zeigef.	Mittelf.	Ringf.	kleiner Finger	Ar. Mittel
↑↑ 1 oben	555	796	756	903	619	726	285	333	310	315	338	316
↖↗ 1 oben	573	775	797	897	618	732	657	672	543	605	614	617
⤧ 1 oben	661	852	619	875	564	714	748	689	761	579	757	707

Einfache Reaktion

Lage	Daumen	Zeigef.	Mittelf.	Ringf.	kleiner Finger	Ar. Mittel
↑↑ 1 oben	187	208	215	214	199	204
↖↗ 1 oben	194	179	189	205	188	191
⤧ 1 oben	184	168	145	174	174	169

Tabelle (Reihe) VI, Vp. Baade.

Verschiedene Lagen beider Hände vor der Brust. Es wurde die Dorsalseite der Spitzenglieder berührt, und zwar jede Stelle jeder Hand bei jeder Lage 5 mal. Die Reaktionszeiten der analogen Stellen beider Hände sind zusammengezogen, also $n = 10$ für jeden Finger. 8 Versuchstage, an jedem kam jede Lage mit 6 Versuchen vor. Art der Vorbereitung war freigestellt.

Fingernennung

Lage	Daumen	Zeigef.	Mittelf.	Ringf.	kleiner Finger	Ar. Mittel
↑↑ 1 oben	480	755	741	800	414	638
↖↗ 1 oben	460	752	773	867	357	642
⤧ 1 oben	448	755	742	733	397	615
↖↗ 5 oben	464	810	1047	852	529	740

Fingerbestimmung bei der Lage ⤧ entschieden längere Zeit beanspruchte als bei der einfachen Parallelstellung ↑↑. Bei den Vpn. Frau Dr. Rupp und Dr. Brunswig läfst sich keine wesentliche Differenz in den Mitteln der beiden Lagen konstatieren. Bei der Vp. Baade ist umgekehrt die Lage ⤧ begünstigt. Ein allgemein gültiges Gesetz über die relative Dauer der Fingerbestimmung in diesen beiden Lagen besteht also nicht. Bezüglich der Reaktionszeiten der Tabellen I und II läfst sich nicht bestimmt sagen, ob die Reaktionszeiten bei der Lage ⤧ sich zum Teil daraus erklären, dafs die Fingerbestimmung längere Zeit beansprucht hätte. Auch für die Vp. Prof. Müller kann ich es nicht sicher behaupten, da die Art der Vorbereitung bei der Reihe I frei gestellt war, während bei der Reihe III die passive Vorbereitung vorgeschrieben war.

§ 10. Vergleichen wir die Reaktionszeiten für die Handbestimmung bei den Lagen ↑↑ und ⤧, so finden wir bei allen drei Vpn. für die Lage ⤧ bedeutend gröfsere Reaktions-

zeiten. Wir können demnach das Gesetz aufstellen, dafs **die Handbestimmung bei der Fingerkreuzungslage ⤨ länger dauert als bei der Parallelstellung ↑↑.**

Daher wird auch die Differenz, welche sich in den beiden ersten Tabellen gezeigt hat, zum grofsen Teil auf die verschieden schwierige Handbestimmung zurückzuführen sein.

Tabelle (Reihe) VII, Vp. Jacobs.

Verschiedene Lagen beider Hände vor der Brust. Es wurde die Dorsalseite der Spitzenglieder berührt, und zwar jede Stelle jeder Hand bei jeder Lage 4 mal. Die Reaktionszeiten der analogen Berührungsstellen beider Hände sind zusammengezogen, also $n = 8$ für jeden Finger. Zwei Versuchstage, an jedem kam jede Lage einmal vor mit 20 Versuchen. Es war passive Vorbereitung vorgeschrieben.

Lage	Fingernennung					
	Daumen	Zeigef.	Mittelf.	Ringf.	kl. Fing.	Ar. Mittel
↑↑ 1 oben	364	447	591	640	405	489
⤨ 1 oben	422	459	528	747	380	507

Tabelle (Reihe) VIII, Vp. Jacobs.

Verschiedene Lagen vor der Brust. Es wurde die Dorsalseite der Spitzenglieder berührt, und zwar jede Stelle jeder Hand 4 mal. Die Reaktionszeiten der analogen Stellen beider Hände sind zusammengezogen, also $n = 8$ für jeden Finger. 4 Versuchstage, an jedem kam jede Lage mit 20 Versuchen vor. Am 1. und 4. Versuchstage wurden die Berührungsstellen beider Hände in zufälligem Wechsel berührt, am 2. und 3. Versuchstage wurde in je 10 aufeinanderfolgenden Versuchen immer nur eine, vorher bekannt gegebene Hand berührt, während die andere Hand in derselben Stellung blieb, wie sie die Lage der Doppelhand verlangte. In der Tabelle ist die erstgenannte Reihenfolge als „gemischte Berührung beider Hände", die zweite als „gruppenweise Berührung je einer Hand" bezeichnet. Es war stets passive Vorbereitung vorgeschrieben.

Lage	Fingernennung											
	Gemischte Berührung beider Hände						Gruppenweise Berührung je einer Hand					
	Daumen	Zeigefinger	Mittelfinger	Ringfinger	kleiner Finger	Ar. Mittel	Daumen	Zeigefinger	Mittelfinger	Ringfinger	kleiner Finger	Ar. Mittel
↑↑ 1 oben	354	493	684	595	410	507	324	382	650	613	432	480
∨ 1 oben	398	446	723	793	442	560	372	393	666	651	399	496

Um zu erklären, wie es kommt, daſs bei der Lage ↗↖ 5 oben die Reaktionszeit für Finger-, Hand- und Gliedbestimmung länger ist als bei der Lage ↑↑ 1 oben, muſs man zwei Schritte tun. Die Lage ↗↖ 5 oben ist in zweifacher Hinsicht verschieden von der Lage ↑↑ 1 oben, erstens weil die Hände gekreuzt sind, und zweitens weil die kleinen Finger statt der Daumen oben liegen. Beide Variationen der Lage müssen getrennt betrachtet werden. Ich führe zunächst aus, welchen Einfluſs es auf die Hand- und auf die Fingerbestimmung hat, wenn die Hände gekreuzt sind, der Daumen aber stets oben liegt; und danach, welchen Einfluſs es hat, wenn unter sonst gleichen Umständen einmal der Daumen, einmal der kleine Finger oben liegt.

§ 11. In den Tabellen III bis VI und VIII sind die Resultate angegeben, welche 5 Vpn. für die beiden *Lagen* ↑↑ *1 oben und* ↗↖ *1 oben* bei der *Fingerbestimmung* geliefert haben. Für die Vpn. Prof. Müller, Frau Dr. Rupp und Jacobs erforderte die Fingerbestimmung *bei der Handkreuzungslage mehr Zeit als bei der Parallelstellung*, für die letztere Vp. auch dann, wenn die beiden Hände nicht in zufälligem Wechsel berührt wurden, sondern als ich während je 10 Versuchen immer nur *eine*, vorher angegebene Hand berührte. Bei den Vpn. Dr. Brunswig und Baade sind die Reaktionszeiten für die beiden genannten Lagen ungefähr gleich.

§ 12. Für die *Handbestimmung* zeigt sich in den Reihen III—V und X bei allen 4 Vpn. übereinstimmend das Resultat, daſs *die gekreuzte Lage bedeutend längere Zeiten erforderte.*

§ 13. An zweiter Stelle haben wir die Lagen zu vergleichen, welche sich nur dadurch unterscheiden, daſs *in der einen der Daumen, in der andern der kleine Finger zu oberst liegt.* Was die *Fingerbestimmung* betrifft, so ergibt sich aus den Tabellen VI, IX, XI und XII ausnahmslos das Gesetz, daſs die Fingerbestimmung *bei der Lage 5 oben längere Zeit beansprucht als bei der Lage 1 oben*, ob nun die Lage ↑ einer Hand angewendet wird, wie in den Reihen X und XI, oder die Handkreuzungslage ↗↖, wie in den Reihen VI und IX. Ferner zeigte sich bei der Vp. Jacobs das genannte Resultat, sowohl wenn die Dorsal-, wie wenn die Volarseite der Spitzenglieder berührt wurde. Die Versuche mit der Vp. Dittmers (Reihe X) sind insofern interessant, als ich bei den-

selben die Finger nicht nennen liefs, sondern die Instruktion gab, „der“ zu sagen, wenn die Vp. den Finger erkannt hatte. Um vorzeitiges Reagieren zu vermeiden, machte ich während der Versuche die Vp. wiederholt aufmerksam, das Wörtchen sinnvoll, in der Bedeutung „dieser“ Finger zu gebrauchen. Trotz dieser Änderung kam sehr deutlich dasselbe Resultat heraus, wie in den anderen Reihen, in welchen der Finger zu nennen war.

Tabelle (Reihe) IX, Vp. Dr. Katz.

Verschiedene Lagen beider Hände vor der Brust. Es wurde die Dorsalseite der Spitzenglieder berührt, und zwar jede Stelle jeder Hand bei jeder Lage 4 mal. Die Reaktionzeiten der analogen Stellen beider Hände sind zusammengezogen, also $n = 8$ für jeden Finger. 4 Versuchstage, an jedem kam jede Lage viermal vor mit jedesmal 5 Versuchen. An 2 Tagen war Fingerbestimmung, an 2 Tagen einfache Reaktion verlangt. Art der Vorbereitung war freigestellt. Bei einfacher Reaktion war sensorische Vorbereitung vorgeschrieben.

Lage	Fingernennung						Einfache Reaktion					
	Daumen	Zeigefinger	Mittelfinger	Ringfinger	kleiner Finger	Ar. Mittel	Daumen	Zeigefinger	Mittelfinger	Ringfinger	kleiner Finger	Ar. Mittel
V 1 oben	615	729	509	878	670	680	220	197	193	210	216	207
V 5 oben	647	739	739	894	524	709	198	178	198	201	184	191

Tabelle (Reihe) X, Vp. Dr. Katz.

Verschiedene Lagen vor der Brust und eine Lage hinter dem Rücken. Es wurde die Dorsalseite der Spitzenglieder berührt, jede Stelle jeder Hand bei jeder Lage 5 mal. Die Reaktionszeiten der analogen Stellen beider Hände sind zusammengezogen, also $n = 10$ für jeden Finger. 4 Versuchstage, an jedem kam jede der 4 Lagen 2 mal vor mit jedesmal 5 Versuchen. Art der Vorbereitung war freigestellt.

Lage	Handnennung					
	Daumen	Zeigef.	Mittelf.	Ringf.	kl. Finger	Ar. Mittel
↑↑ 1 oben	284	224	235	244	268	251
V 1 oben	338	298	284	310	278	300
V 5 oben	349	332	302	289	334	321
Λ 1 oben	308	275	268	298	255	281

Tabelle (Reihe) XI, Vp. DITTMERS.

Verschiedene Lagen der linken Hand vor der Brust. Es wurde die Dorsalseite der Spitzenglieder berührt, und zwar jeder Finger bei jeder Lage 5 mal, also $n = 5$ für jeden Finger. 1 Versuchstag, jede Lage kam 4 mal vor mit jedesmal 6—7 Berührungen. Zu reagieren war bei dieser Reihe nicht durch Nennung des Fingers, sondern, ähnlich wie bei der „Erkennungsreaktion", dadurch, dafs die Vp. „der" in der Bedeutung „dieser Finger" zu sagen hatte, wenn sie den Finger erkannt hatte. Art der Vorbereitung war freigestellt.

Fingererkennungsreaktion						
Lage	Daumen	Zeigef.	Mittelf.	Ringf.	kl. Finger	Ar. Mittel
→ 1 oben	526	539	535	568	546	543
→ 5 oben	596	683	656	630	652	669

Tabelle (Reihe) XII, Vp. JACOBS.

Verschiedene Lagen der linken Hand vor der Brust, und zwar war die Hand stets so zu halten, dafs der Vp. bei geschlossenen Augen weder die Volar- noch die Dorsalseite zugekehrt schien. Es wurden in zufälligem Wechsel die Volar- und die Dorsalseite der Spitzenglieder berührt. Jede der 10 Stellen der Hand wurde bei jeder Lage 5 mal berührt, also $n = 5$ für jede Seite eines jeden Fingers. 2 Versuchstage, an jedem kam jede Lage einmal vor mit je 25 Versuchen. Es war passive Vorbereitung vorgeschrieben.

Fingernennung												
Lage	Dorsalseite						Volarseite					
	Daumen	Zeigefinger	Mittelfinger	Ringfinger	kleiner Finger	Ar. Mittel	Daumen	Zeigefinger	Mittelfinger	Ringfinger	kleiner Finger	Ar. Mittel
↑ 1 oben	339	400	551	873	384	509	319	375	590	614	448	469
↑ 5 oben	406	434	724	826	443	566	430	451	682	725	407	539

§ 14. Über die Reaktionszeiten für die H a n d - N e n n u n g bei den Lagen ∨ 1 o b e n u n d ∨ 5 o b e n geben die Tabellen X und XIII Aufschlufs. Es scheint in beiden Fällen, (wenn man in der Tabelle XIII von den eingeklammerten Werten absieht), die Handbestimmung bei der Lage 5 oben etwas längere Zeit zu

beanspruchen, als bei der andern Lage. Aus der 2. Tabelle läfst sich jedoch dieses Gesetz nicht mit Sicherheit ablesen.

Tabelle (Reihe) XIII, Vp. Frau Dr. Rupp.

Verschiedene Lagen beider Hände vor der Brust. Es wurde die Dorsalseite der Spitzenglieder berührt und zwar jedes Glied jeder Hand bei jeder Lage 4 mal. Die Reaktionszeiten der analogen Stellen beider Hände wurden zusammengezogen, also $n = 8$ für jeden Finger. 2 Versuchstage, an jedem kam jede Lage 2 mal vor mit je 10 Versuchen. Es war passive Vorbereitung vorgeschrieben. Über die in Klammer gesetzten Werte vergleiche man § 29.

Handnennung						
Lage	Daumen	Zeigef.	Mittelf.	Ringf.	kl. Finger	Ar. Mittel
V 1 oben	416 (572)	484	499	576 (768)	565 (796)	508 (624)
V 5 oben	416	646	526	561	539	538

Tabelle (Reihe) XIV, Vp. Frau Dr. Rupp.

Verschiedene Lagen beider Hände vor der Brust und hinter dem Rücken. Es wurde die Dorsalseite der Spitzenglieder berührt, und zwar jeder Finger jeder Hand bei jeder Lage 2 mal. Die Reaktionszeiten der analogen Stellen beider Hände sind zusammengezogen, also $n = 4$ für jeden Finger. 2 Versuchstage, an jedem kamen alle Lagen je einmal vor mit je 10 Versuchen. Es war passive Vorbereitung vorgeschrieben, bei einfacher Reaktion aufserdem sensorische Einstellung.

Einfache Reaktion						
Lage	Daumen	Zeigef.	Mittelf.	Ringf.	kl. Finger	Ar. Mittel
↑↑ 1 oben	270	304	287	254	288	281
V 1 oben	278	263	238	284	297	272
X 1 oben	244	250	223	212	247	235
Ɣ hor.	298	311	258	267	257	278
Ɣ vert.	319	286	297	298	302	300
Λ 1 oben	272	264	264	280	281	272

Aus diesen Resultaten können wir für unsere beiden ersten Versuchsreihen den Schlufs ziehen, dafs die bedeutenden Differenzen, welche zwischen den Lagen ↑↑ 1 oben und V 5 oben bestehen (1229 und 2196 für die erste Vp., 832 und 1138 für die

zweite Vp.), sich sicher zum Teil daraus erklären, dafs die Handbestimmung infolge der Kreuzung der Hände und dafs die Fingerbestimmung wegen des oben liegenden kleinen Fingers schwieriger waren. Nicht sicher können wir behaupten, dafs wegen der Handkreuzung auch die Fingerbestimmung und wegen der oben liegenden kleinen Finger die Handbestimmung schwieriger gewesen sei. Natürlich mufs auch die Möglichkeit offen gelassen werden, dafs die Gliedbestimmung in der gekreuzten Lage gröfsere Schwierigkeit bereitet habe als in der Parallelstellung.

§ 15. Ich komme nun zu den Lagen, welche ich als Handfingerkreuzungslagen bezeichnet habe. In den Tabellen I und II sind die Reaktionszeiten dieser Lagen bedeutend länger als die Reaktionszeiten aller anderen Lagen. Ich habe es unterlassen Hand- und Fingerbestimmung für diese Lagen gesondert zu untersuchen, da man sowohl nach den bereits angeführten Resultaten, wie auch aus den Selbstbeobachtungen und Täuschungen mit Sicherheit schliefsen kann, dafs Hand- und Fingerbestimmung länger dauern müssen als in den bisher besprochenen Lagen. Auf die Selbstbeoachtungen und Täuschungen werde ich später eingehen, hier will ich nur die Schlüsse anführen, die sich aus den Resultaten der bisher besprochenen Versuche ziehen lassen. Betrachten wir zuerst die Lage mit horizontal liegendem Unterarm und Fingern, so sehen wir, dafs sie die Schwierigkeiten, welche wir bei den Lagen ⤧ 1 oben und ⩔ 5 oben gegenüber den Lagen ⇈ 1 oben und ⩔ 5 oben bemerkt haben, in sich vereinigt. Es sind einerseits die Finger und die Hände gekreuzt, und es liegen andererseits die kleinen Finger statt der Daumen oben. Man wird demnach von vornherein erwarten, dafs sowohl die Finger- wie auch die Handbestimmung gröfsere Schwierigkeit bereiten wird als bei allen früheren Lagen. Bezüglich der zweiten Handfingerkreuzung läfst sich nur das voraussagen, dafs die Handbestimmung wegen der Finger- und Handkreuzung Schwierigkeiten bereiten wird. Wie sich jedoch aus Täuschungen ergeben wird, bedeutet auch der Umstand, dafs der kleine Finger und nicht der Daumen dem Gesicht zugekehrt ist, eine Erschwerung der Fingerbestimmung, ganz ähnlich wie bei der horizontalen Handfingerkreuzung durch den oben liegenden kleinen Finger die Fingerbestimmung erschwert ist.

Tabelle (Reihe) XV, Vp. Jacobs.

Verschiedene Lagen beider Hände vor der Brust. Es wurde die Dorsalseite der Spitzenglieder berührt, und zwar jede Stelle jeder Hand bei jeder Lage 2 mal. Die Reaktionszeiten der analogen Stellen beider Hände sind zusammengezogen, also $n = 4$ für jeden Finger. 1 Versuchstag, jede Lage kam 2 mal mit jedesmal 10 Versuchen vor. Es war sensorische Einstellung und passive Vorbereitung vorgeschrieben.

Einfache Reaktion						
Lage	Daumen	Zeigef.	Mittelf.	Ringf.	kl. Finger	Ar. Mittel
↑↑ 1 oben	168	180	180	168	166	172
∨ 1 oben	179	194	164	179	178	179
✕ 1 oben	176	174	184	178	174	177

Tabelle (Reihe) XVI, Vp. Baade.

Verschiedene Lagen beider Hände vor der Brust. Es wurde die Dorsalseite der Spitzenglieder berührt, und zwar jede Stelle jeder Hand bei jeder Lage 2 mal. Die Reaktionszeiten der analogen Stellen beider Hände sind zusammengezogen, also $n = 4$ für jeden Finger. 1 Versuchstag, jede Lage kam 2 mal vor mit jedesmal 10 Versuchen. Es war sensorische Einstellung und passive Vorbereitung vorgeschrieben.

Einfache Reaktion						
Lage	Daumen	Zeigef.	Mittelf.	Ringf.	kl. Finger	Ar. Mittel
↑↑ 1 oben	266	248	262	269	259	261
∨ 1 oben	250	262	255	254	274	259
✕ 1 oben	276	264	258	262	248	262

§ 16. Für die Erklärung der eben angegebenen Resultate der Zeitmessung ist es nötig, auch die bei **einfacher Reaktion** sich ergebenden Reaktionszeiten zu berücksichtigen. Ich führe dieselben in diesem Kapitel, welches die objektiven Resultate enthalten soll, an. Versuche über einfache Reaktion habe ich nur mit einigen Vpn. und nur bei einigen Lagen angestellt. Die Ergebnisse derselben sind in den Tabellen V, IX, XIV, XV und XVI angegeben.

Man sieht, dafs Differenzen zwischen den einzelnen Lagen vorhanden sind, dafs sie aber meistens gegenüber den Differenzen,

welche sich bei Finger- und Handbestimmung zeigten, verschwinden. Die Vpn. Frau Dr. Rupp und Dr. Brunswig (Tab. XIV und V) stimmen darin überein, dafs sie bei den Lagen ↑↑ und ↖↗, in welchen die berührten Stellen weit voneinander entfernt liegen, entschieden gröfsere Reaktionszeiten brauchen, als bei der Fingerkreuzung ↗↖, bei welcher die Fingerspitzen nahe beisammen liegen. Die Vp. Baade (Tab. XVI) zeigt diesen Unterschied nicht. Zwischen verschiedenen Lagen, bei welchen die berührten Fingerspitzen in gleicher Weise weit voneinander entfernt liegen — hierher gehören die Lagen ↑↑ 1 oben, ↖↗ 1 und 5 oben und ↙↘ 1 oben — ist bei den Vpn. Frau Dr. Rupp und Baade (Tab. XIV und XVI) kein Unterschied; bei Dr. Brunswig (Tab. V) ist die Lage ↖↗ gegenüber der Lage ↑↑, bei Dr. Katz (Tab. IX) die Lage ↖↗ 5 oben gegenüber der Lage ↖↗ 1 oben um einen ganz geringen Betrag begünstigt. Bei Vp. Jacobs (Tab. XV) sind die Differenzen so klein, dafs die Zeiten wohl als gleich anzusehen sind.

Mit Vp. Frau Dr. Rupp stellte ich auch Versuche bei den Handfingerkreuzungslagen an; bei denselben liegen die berührten Fingerspitzen ungefähr innerhalb desselben Raumes wie bei der Fingerkreuzungslage ↗↖. Die Reaktionszeiten waren bei der horizontalen Handfingerkreuzung länger als bei der Fingerkreuzung und bei der vertikalen Handfingerkreuzung gröfser als bei der horizontalen (Tab. XIV).

(Schlufs folgt.)

Eine Dichromatenfamilie.

Von
WILIBALD A. NAGEL.

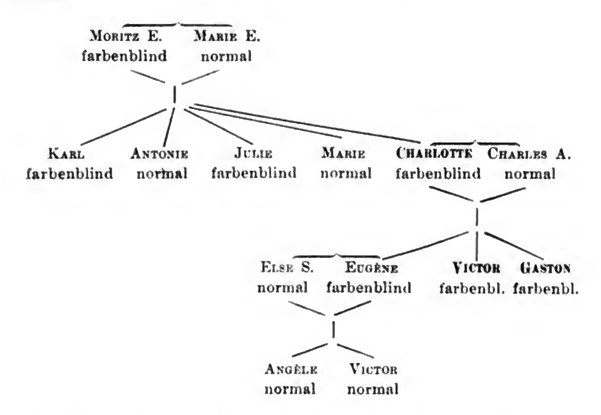
Hinsichtlich der Vererbung der typischen partiellen Farbenblindheit wird im allgemeinen gelehrt, dafs sie unter Überspringung einer Generation vor sich gehe und zwar in der Weise, dafs die Tochter eines Dichromaten die Anomalie auf ihren Sohn vererbt, ohne selbst farbenblind zu sein.

Es ist mir nicht bekannt, inwieweit diese Annahme zutrifft. Über den Farbensinn der Grofseltern jetzt lebender Farbenblinder etwas Bestimmtes zu erfahren, ist in allen den Fällen naturgemäfs nicht leicht, in denen es sich um jetzt erwachsene Farbenblinde handelt. Die Kenntnis der Farbenblindheit war in der um zwei Generationen zurückliegenden Zeit noch wenig verbreitet.

Mir persönlich ist kein Fall bekannt, in dem die Vererbung nachweislich nach dem oben erwähnten Schema gegangen wäre; allerdings weifs ich, auch wo es sich um farbenblinde Kinder handelt, nur in den wenigsten Fällen, wie der Farbensinn der Grofseltern beschaffen ist. Dagegen kenne ich mehrere Fälle, in denen anscheinend keine Generation übersprungen wurde. In einem Falle waren Vater und Sohn beide Deuteranopen (Grünblinde), in einem zweiten der Vater Protanop (Rotblinder), der Sohn Deuteranop. In beiden Fällen konnte allerdings der Sohn die Farbenblindheit auch durch die Mutter von seinem Grofsvater ererbt haben; über den Farbensinn der Grofseltern war nichts zu erfahren.

Von besonderem Interesse scheint mir die Verbreitung der Farbenblindheit in einer Familie, deren Stammbaum ich hier mitteilen möchte. Es handelt sich um Farbenblindheit in drei

aufeinanderfolgenden Generationen. Besonders bemerkenswert ist in dieser Familie das Vorkommen von zwei farbenblinden Frauen.



Die Familienglieder, deren Namen fett gedruckt sind, habe ich selbst untersuchen können; sie sind Protanopen. Der dritte Bruder wurde von einem der anderen mit Hilfe meiner Farbentafeln untersucht und ebenfalls als Protanop befunden. Da in der Familie das Vorhandensein der Anomalie lange bekannt ist und die Häufung derselben (7 Dichromaten unter 14 Personen!) Interesse erregt hatte, halte ich die Angaben über den Farbensinn der anderen Familienglieder für durchaus zuverlässig. Bemerkenswert ist die regelmäfsige Abwechslung zwischen normalem und dichromatischem Farbensinn bei den fünf Kindern des Ehepaares E.

Nachschrift während der Korrektur.

Nachdem ich die obenstehende kurze Mitteilung zum Druck eingesandt hatte, sind mir durch ein eigentümliches Spiel des Zufalles innerhalb weniger Tage zwei Fälle bekannt geworden, in denen die Vererbung der Farbenblindheit nach dem als typisch geltenden Schema erfolgt zu sein scheint: Der Grofsvater mütterlicherseits teilte die Anomalie mit seinem Enkel, und zwar auch hinsichtlich des Dichromaten t y p u s. Den einen Fall habe

ich selbst beobachtet, der andere wurde mir von kompetenter Seite mitgeteilt.

Es wäre von nicht geringem Interesse, wenn einmal eine gröfsere Statistik über die Verbreitung von dichromatischem und anomalem trichromatischem Farbensinn innerhalb einer Familie beigebracht werden können. Nach den bisherigen Ermittelungen würde ich mich nicht getrauen, ein bestimmtes Vererbungsschema als das reguläre, oder auch nur als das häufiger innegehaltene hinzustellen.

(Eingegangen am 22. Januar 1906.)

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Bern.)

Das Gesetz der spezifischen Sinnesenergie und seine Beziehung zur Entwicklungslehre.[1]

Von
LEON ASHER.

Die nicht geringe Zahl prinzipieller Untersuchungen, welche über das Gesetz der spezifischen Sinnesenergie vorliegen, spricht dafür, einerseits dafs noch verschiedenes kontrovers ist, andererseits dafs man sich einen Nutzen für die Erkenntnis aus der kritischen Erörterung des in jenem Gesetz Ausgesagten verspricht. Der Physiolog insbesondere hat schon deshalb Ursache, eine ganz unzweideutige Stellung zum Gesetz der spezifischen Sinnesenergie einzunehmen, weil die sich auf den Boden dieses Gesetzes stellende Forschung die fruchtbringendsten, tatsächlichen Erkenntnisse erworben hat. Es sei an dieser Stelle nur erinnert an die Entdeckung der Kälte- und Wärmepunkte durch BLIX und GOLDSCHEIDER, der Druckpunkte durch BLIX, der Schmerzpunkte durch v. FREY und der differenten Geschmackspunkte durch OEHRWALL. Auf die hohe erkenntnistheoretische Bedeutung der Annahme oder Verwerfung des Gesetzes der spezifischen Sinnesenergie will ich an dieser Stelle nicht eingehen, da die nachfolgende Erörterung hierauf nicht Rücksicht zu nehmen braucht.

Der wesentliche Inhalt des Gesetzes der spezifischen Sinnesenergie ist die Aussage, dafs die Qualität einer Empfindung nicht von aufsen her, sondern von innen her bedingt wird. Diese ganz allgemeine Fassung gestattet jede der Lehrmeinungen,

[1] Nach einem auf dem II. Kongrefs für experimentelle Psychologie zu Würzburg gehaltenen Vortrag.

welche über den Zusammenhang von Sinnesreiz und Sinnesempfindung geäufsert worden sind, in einfacher Weise zu gruppieren. Diejenigen, welche Gegner des Gesetzes der spezifischen Sinnesenergie sind, behaupten, dafs etwas, was dem Reize selbst zu eigen sei, beispielsweise seine Form oder Periodik, demnach etwas von aufsen her Kommendes, bestimmend für die Qualität der Empfindung sei. Im Gegensatz hierzu sind die Anhänger des Gesetzes der spezifischen Sinnesenergie darüber einig, dafs nichts aufserhalb des Organismus Gelegenes die Eigenart der Qualität verursache. Hingegen sind die Meinungen darüber geteilt, welches innere Moment als mafsgebend zu erachten sei. Die einen verlegen es in die peripheren Sinnesorgane, welche die Aufgabe haben sollen, den dem Zentralorgan zugeleiteten Vorgängen gewissermafsen ein charakteristisches Gepräge zu verleihen, die anderen in chemische Vorgänge, welche der Gesamtheit der zu einem Sinnesorgane gehörigen Sinnessubstanz zu eigen sind, wieder andere ausschliefslich in die Zellen des zentralen Nervensystems, beim Menschen insbesondere in die Hirnrinde. Am schärfsten begrifflich ausgesprochen findet sich der Gegensatz zwischen aufsen und innen bei Forschern wie v. Uexküll und C. Schneider. Diesen sind die gesamte Nervensubstanz, die physikalischen und chemischen Prozesse auch der Hirnrinde der Empfindung gegenüber nichts weiter als Aufsenwelt. Gehirn und Bewufstseinsvorgänge lassen sich nach v. Uexküll nicht kausal miteinander verknüpfen, Erkanntes und Erkennendes stehen in einem zwar festen, aber inkommensurablen Verhältnis. Wer gewillt ist, diese zuletzt genannte Auffassung, welche prinzipiell mit der von Helmholtz stets mit Nachdruck vertretenen identisch ist, anzuerkennen, wird deshalb nicht der Aufgabe enthoben, den in der Organisation gelegenen Ursachen der Verschiedenartigkeit der Empfindungen nachzugehen. Eine konsequent durchgeführte strenge Loslösung der Bewufstseinsvorgänge von den Vorgängen in der Nervensubstanz ist vom heuristischen Standpunkte aus ein Hemmschuh für die Erkenntnis, da dann beide Gebiete gewissermafsen in der Luft hängen. Es wäre dann ein vergebliches Bemühen, je nach der Zugänglichkeit des einen oder anderen Gebietes unseren Standpunkt zu wechseln, um Erkenntnisse zu gewinnen, welche für beide gemeinsam gelten. Die Forschung verzichtet nicht gern auf einen Weg, bis dessen völlige Unfruchtbarkeit für die Erfahrung mit Sicherheit er-

wiesen ist. Vor allem aber ergibt sich durch die Analyse der Empfindung, dafs gewisse bemerkenswerte Empfindungstatsachen sich aus den Eigenschaften der Empfindungen selbst gar nicht erklären lassen, während die gleichzeitige Berücksichtigung der im Nervensystem sich abspielenden Vorgänge eine zurzeit durchaus befriedigende Aufklärung liefert. Ich will hierfür aus dem bestuntersuchten Sinne, dem Gesichtsinne, ein beweiskräftiges Beispiel vorbringen. Die Tatsache, dafs blau und gelb, rot und grün miteinander kontrastieren, läfst sich aus irgend welchen Eigenschaften dieser Empfindungen selbst absolut nicht ableiten. Hingegen wird die so leicht zu konstatierende Tatsache des Kontrastes sofort verständlich, wenn wir entgegengesetzte Prozesse in der nervösen Substanz dem Kontrastvorgange zugrunde liegend uns vorstellen. Wie sehr auch der Kontrast, der eine bei vielen Sinnesempfindungen vorkommende und nicht immer hinreichend gewürdigte Erscheinung ist, ein psychisches Phänomen sein mag, so ist er trotzdem aus dem Psychischen heraus schlechterdings nicht ableitbar. Dieses eine Beispiel möge genügen, um die Bedeutung der Erforschung der physiologischen Vorgänge für die Sinnesempfindungen zu beleuchten.

Aus den dargelegten Gründen erscheint es daher geboten, den augenblicklichen Stand unserer Kenntnisse von denjenigen Teilen zu überblicken, die wir in engerem Zusammenhang mit unseren Empfindungen zu bringen gewohnt sind.

Am raschesten läfst sich das Verhalten der peripheren Sinnesorgane erledigen. Tatsache ist, dafs sich dieselben in ihrem anatomischen Aufbau aufserordentlich voneinander unterscheiden, und dafs sie eine wunderbare Anpassung an die der Aufsenwelt angehörigen Reizvorgänge offenbaren. Trotzdem ist die spezifische Energie nicht etwa eine solche eben der peripheren Sinnesorgane. Hiergegen sprechen eine Reihe gewichtiger Tatsachen. Erstens sind auch die niedriger entwickelten Sinnesorgane befähigt, wenn sie von durchaus unadäquaten Reizen betroffen werden, nur eine dem betreffenden Sinne eigene Empfindung auszulösen. Es bedarf also zu dieser Erscheinung nicht der hohen Entwicklung, wie sie im Auge und Ohr verwirklicht ist. Zweitens kommen die Empfindungen zustande auch ohne jede Mitwirkung der peripheren Sinnesorgane. Diese fundamentale, schon von Johannes Müller festgestellte und in ihrer ganzen Bedeutung erkannte Tatsache hat seither in ihrer Beweiskraft, trotz dieser und jener

spekulativen Erwägung, nicht im mindesten eingebüfst. Drittens, selbst wenn das periphere Sinnesorgan dem in ihm ausgelösten Erregungsvorgange Eigenheiten verliehe, welche diesen Erregungsvorgang von allen anderen unterschiede, wäre nicht viel damit gewonnen. Denn wir müfsten immer noch Einrichtungen postulieren, welche die dort entstandenen Unterschiede im ganzen Zentralnervensystem aufrecht erhielten. Da gerade die Anhänger der Anschauung, dafs die spezifische Sinnesenergie im peripheren Endorgan lokalisiert sei, andererseits eine Verschiedenheit im Zentralnervensystem nicht annehmen, leuchtet hieraus die bestehende Schwierigkeit deutlich hervor. Die Aufgabe der peripheren Sinnesorgane ist tatsächlich eine ganz andere und mit v. Uexküll und Oehrwall präzisieren wir sie am einfachsten in folgender Weise: Erstens sind die peripheren Sinnesorgane Einrichtungen mit möglichster Anpassung unter normalen Bedingungen an eine einzige Reizart, zweitens Einrichtungen, um andere Reizarten als die sog. adäquaten, solange normale Bedingungen bestehen, nicht zur Wirkung gelangen zu lassen. Je höher ein Sinnesorgan entwickelt ist, um so schärfer tritt diese Doppelaufgabe zutage. Diese beiden scheinbar beschränkten Funktionen der peripheren Sinnesorgane leisten in Wirklichkeit aufserordentlich viel für die Bedürfnisse des Organismus. Dadurch, dafs in der Regel — abgesehen von künstlich herbeigeführten experimentellen Bedingungen — nur eine einzige Reizart, vermittels des peripheren Sinnesorgans, den Sinnesnerv zu affizieren vermag, wird der Zusammenhang zwischen der geweckten Empfindung und dem Vorgange aufserhalb des Organismus, dessen Zeichen die Empfindung ist, ein fester. Die scheinbare Schwierigkeit, welche das Gesetz der spezifischen Sinnesenergie durch die Behauptung der Inkommensurabilität zwischen Empfindung und verursachendem Vorgang aufserhalb des Organismus für das Verständnis der Zweckmäfsigkeit unserer Handlungen schafft, fällt, durch die eben angestellte Betrachtung, dahin. Eigentlich sollte es nicht mehr nötig sein, diesen Gedankengang wieder in Erinnerung zu rufen, nachdem Helmholtz in überzeugender Klarheit auseinandergesetzt hat, dafs selbst das Erkennen der Gesetzmäfsigkeit des Naturgeschehens — sicher eine der höchststehenden Leistungen — durch die skizzierte Einrichtung hinreichend gewährleistet ist.

Nach den peripheren Sinnesorganen sind es zunächst die

einzelnen Sinnesnerven, deren strukturelle, physikalische und chemische Eigenschaften daraufhin zu prüfen sind, inwieweit durch diese etwa eine Verschiedenheit der Leistung bedingt sein könnte. Feinere strukturelle Unterschiede der einzelnen Sinnesnerven werden zwar bei genauerer Beobachtung nicht vollständig vermifst, aber die Unterschiede sind nicht derart, dafs man auf sie Gewicht zu legen irgend eine Berechtigung hätte. Im gegenwärtigen Augenblicke ist es überhaupt mifslich die Diskussion auf das Gebiet des strukturellen zu leiten, da unter den mafsgebenden Histologen ein unentschiedener Kampf darüber wogt, welches das eigentlich leitende Element der Nervenfaser sei. Die einen erblicken es in den bis jetzt noch nicht als strukturell differenziert erkannten Neurofibrillen, die anderen in dem Protoplasma, welches die Fibrillen begleitet.

Die physikalischen Erscheinungen am Nerven sind es bekanntlich gewesen, welche die Grundlage für die sehr weit verbreitete Lehre von der Gleichartigkeit der peripheren Nervenfasern gebildet haben. Jeder Nerv zeigt die gleichen elektrischen Zustandsänderungen; quantitative Unterschiede ergeben sich fast nur durch den gröfseren oder geringeren Markreichtum der einzelnen Nerven. Freilich ist mit dem Nachweis eines überall gleichen physikalischen Geschehens durchaus nicht der Beweis für die Gleichartigkeit aller Nerven erbracht. Es hat Ewald Hering nachdrücklich hervorgehoben, dafs dem gleichen physikalischen Geschehen ein durchaus verschiedenes chemisches Geschehen in den einzelnen Nerven zugrunde liegen kann.

Es ist das Verdienst des eben genannten grofsen Sinnesphysiologen als erster systematisch in der Lehre von der Sinnesempfindung das chemische Geschehen beim Studium der Prozesse in der Nervensubstanz in den Vordergrund gerückt zu haben. Weit sind die Ausblicke, welche sich der chemischen Betrachtungsweise eröffnen, einer Betrachtungsweise, welche auf allen Gebieten der modernen Biologie ungemein befruchtend gewirkt hat. Bei vorsichtiger Erwägung alles dessen, was wir über den Chemismus der nervösen Substanz positiv wissen, mufs man sich bescheiden eingestehen, dafs wir vorläufig wenig in Händen haben. Der Einfachheit halber kann hier gleich die periphere und die zentrale Nervensubstanz gemeinsam abgehandelt werden. Die Erforschung der chemischen Zusammensetzung des Nervensystemes hat noch keine wesentlichen Unterschiede in den ein-

zelnen Teilen aufdecken können. Die Arten der chemischen Prozesse in der nervösen Substanz sind auch noch nicht als wesentlich verschieden von denjenigen erkannt worden, welche in jeglicher lebenden Substanz waltend sich nachweisen lassen. Die chemische Dynamik vollends der Prozesse in den Nerven ist überhaupt noch nicht in Angriff genommen worden. Es ist vielleicht überhaupt fraglich, ob auf dem Wege, welchen bisher die chemischen Erforscher der lebendigen Substanz haben notwendigerweise, den bewährten Methoden ihrer Wissenschaft folgend, wandeln müssen, dasjenige zu erreichen ist, was denen als Ideal vorschwebt, die alle Empfindungen getragen wissen wollen von chemischen Prozessen in der Nervensubstanz. Vielleicht darf man hoffen, dafs eine reichere Ausbeute an Erkenntnissen aus dem Studium der überraschenden Eigenschaften der höheren Eiweifskörper erwächst, welche die sogenannte biologische Methode enthüllt hat. Wenn wir sehen, dafs die Eiweifskörper der einzelnen Zellen, welche auf Grund der chemischen Analyse als gleich oder mindestens verwandt bezeichnet werden müssen, durch die biologische Reaktion im Tierkörper ungemein fein differenzierte, spezifische Eigenschaften verraten, so dafs sie funktionell als durchaus wesensungleich erscheinen, so darf gehofft werden, dafs der sinngemäfse Verfolg dieser Dinge im Nervensystem entsprechende Ergebnisse zeitigen wird. Für den Augenblick mufs jedoch konstatiert werden, dafs die Hauptgrundlage der Anschauung von der Korrespondenz verschiedener Empfindungen mit verschiedenem chemischen Geschehen beruht auf der Lehre vom Parallelismus zwischen physischem und psychischem Geschehen und abgeleitet ist durch Rückschluss von den Empfindungen auf deren physisches Substrat, ein Rückschlufs, dessen Berechtigung in der Analogie mit unserem auf allen anderen Gebieten der Biologie geübten und bewährten Denkweise liegt.

In jüngster Zeit ist der Versuch gemacht worden die Frage nach der Gleichheit oder Ungleichheit der einzelnen Nervenfasern nicht auf dem Wege der physikalischen oder chemischen Analyse, sondern auf demjenigen der funktionellen mit Hilfe des Experimentes am lebenden Nerven selbst zu entscheiden. Da die Frage nach der Gleichheit oder Ungleichheit der Nervenfaser von je her eine Rolle bei dem Gesetz der spezifischen Sinnesenergie gespielt hat, scheint es geboten jede neue Er-

fahrung, selbst wenn sie ganz unabhängig von dem uns hier interessierenden Probleme gewonnen wurde, in Erwägung zu ziehen. Das um so mehr, als unzweifelhaft die hier mitzuteilenden neuen Tatsachen im passenden Momente, sowohl von den Anhängern wie auch von den Gegnern des Gesetzes der spezifischen Sinnesenergie, ihre Verwertung finden werden. J. N. Langley hat in einer mustergültig angelegten und in umfassender Weise durchgeführten Versuchsreihe gezeigt, dafs alle vom Zentralnervensystem ausgehenden, sogenannten efferenten Nervenfasern, funktionell gleich sind. Der Beweis gründet sich darauf, dafs die verschiedenen efferenten Nervenfasern miteinander zur Verheilung gebracht werden können, und dafs nach der Verheilung des zentralen Anteils eines Nerven mit dem peripheren Stücke eines anderen Nerven die Funktion bestimmt wurde durch das periphere Endorgan, mit welchem der verheilte Nerv in Verbindung gebracht worden war. Auf diese Weise war es z. B. gelungen einen vorher gefäfserweiternden zu einem gefäfsverengernden Nerven zu machen, oder einen Kontraktion quergestreifter Muskeln auslösenden Nerven zu einem Erreger peripherer Ganglien umzugestalten. Diese Tatsachen scheinen sehr dafür zu sprechen, dafs die hier in Betracht kommenden Nervenfasern gleich sind, beziehentlich, dafs sie den gleichen Vorgang leiten: der Unterschied in der Funktion beruht nur auf dem peripheren Organe, in welches ein Nerv einmündet. Diese Folgerung ist unabweisbar, wenn man nicht etwa folgende Hypothese sich noch vorbehält. Es liefse sich vorstellen, dafs doch die in den Nervenfasern ablaufenden Vorgänge verschiedener Art sein können, dabei aber trotzdem im stande wären, ein Erfolgsorgan, mit welchem sie sonst nicht in Verbindung stehen, in Erregung zu versetzen. Die ausgelöste Erregung aber kann sich nur äufsern gemäfs den innewohnenden Eigenschaften des betroffenen peripheren Organes. Aber auch ohne diese Hypothese läfst sich feststellen, dafs die Gleichartigkeit der efferenten Nerven nicht notwendigerweise die Ungleichartigkeit der verschiedenen Sinnesnerven ausschliefst. Alle efferenten Nerven lösen in ihren Endorganen Vorgänge aus, zu deren zustande kommen alle Bedingungen den Endorganen selbst inne wohnen; alle Äufserungen des Eigenlebens derselben sind in ihnen vorgebildet, so dafs der vom Nerven anlangende Prozefs nichts hierzu wesentliches beizutragen in der Lage ist. Ferner gehören

die Endorgane, zu welchen sich die efferenten Nerven begeben, ganz anderen Gewebssystemen an als die Nerven, stellen ganz anders geartete und funktionierende Apparate dar. Hingegen liegen die Verhältnisse bei den Sinnesnerven wesentlich anders. Diese haben ihre Endstätten in Apparaten, welche zum gleichen Gewebssystem gehören. Daher ist die Annahme, dafs die zu einem Sinnesorgane gehörende Endstätte und ihr Zuleitungsweg, ihr Nerv, gemeinsame, sie von anderen Sinnesorganen unterscheidende Eigenschaften besäfse, nicht ohne weiteres von der Hand zu weisen. Die grofsen offenkundigen Unterschiede in den Erfolgsorganen der efferenten Nerven, welche, wie wir sahen, eine Verschiedenheit der anlangenden Nervenprozesse überflüssig machen kann, findet sich in den Endorganen der Sinnesnerven, was ihre Struktur betrifft, nicht in diesem Mafse; hieraus folgt wiederum, dafs die Gleichartigkeit der Nervenfasern nicht als etwas mehr oder weniger selbstverständliches hingestellt werden kann. Ich resümiere die hier vorgebrachten Erörterungen dahin, dafs die Frage der Gleichartigkeit und der Ungleichartigkeit der Vorgänge in den einzelnen Nerven für die Sinnesnerven durch die bedeutsamen Untersuchungen Langleys nicht erledigt ist, will aber gleichzeitig betonen, dafs dieses Résumé kein positives Argument zugunsten der Ungleichartigkeit der sensorischen Nervenfasern sein soll. Weit eher spricht immer noch zugunsten der Gleichartigkeit auch der Sinnesnerven, erstens dafs die Sinnesempfindungen rein zentral, ohne Mitwirkung der Sinnesnerven zustande kommen können, und zweitens dafs man tatsächlich mit der Annahme der Gleichartigkeit der sensorischen Nervenfasern den beobachtbaren Erscheinungen keinen Zwang antut. Wir bescheiden uns also diese ganze Frage noch als eine offene zu behandeln.

Die engsten Zusammenhänge bestehen naturgemäfs zwischen der Lehre von den spezifischen Sinnesenergien und dem jeweiligen Stand unserer Erkenntnisse über die Funktion des Zentralnervensystems, insbesondere der Hirnrinde. In der Literatur unseres Gegenstandes spielt, wie bekannt, die Beziehung auf die Lokalisationslehre der Hirnphysiologen keine geringe Rolle. Es ist bezeichnend, dafs der hervorragendste Gegner des Gesetzes der spezifischen Sinnesenergie gleichzeitig auch sich skeptisch gegen die Lehre von der weitgehenden strukturellen und funktionellen Differenzierung der Teile des Zentralnervensystems verhält. Im

Augenblick neigt sich die Wagschale zugunsten der Lokalisationslehre. Einen mächtigen Impuls hat die Lehre von der Verschiedenheit des strukturellen Aufbaues des Zentralnervensystems in entschiedener Weise durch die Befunde von PAUL FLECHSIG erhalten. Durch diese ist gezeigt worden, erstens, dafs die Endigungen der Sinnesleitung in der Hirnrinde sich zeitlich unterscheidbar voneinander entwickeln; zweitens, dafs nur ganz bestimmte Teile der Hirnrinde mit den peripheren Sinnesorganen in Verbindung stehen, während andere sehr grofse Partien der Hirnrinde keinerlei direkten Zusammenhang mit der Peripherie haben; drittens, dafs diese entwicklungsgeschichtlich, also durch einen Naturprozefs abgrenzbaren Bezirke, im Prinzip, nicht in den Details, übereinstimmen mit den Ergebnissen der Lokalisationslehre, wie sie durch Beobachtungen im Experiment und am Krankenbett gewonnen werden; viertens, dafs die anatomisch aufgefundenen Sinnessphären auch im feineren Aufbau Unterschiede aufweisen, welche sie speziell charakterisieren. Es mufs zugegeben werden, dafs das auf jedem Erfahrungswege gewonnene Ziel die Aussicht auf die so dringend postulierten Unterschiede im Zentralnervensystem deutlicher als bisher eröffnet. Aber die Vorsicht erheischt auch der Kehrseite dieser Dinge nicht zu vergessen. Der Vergleich zwischen den anatomischen Unterschieden einerseits in peripheren, andererseits in zentralen Organen, deckt doch unvergleichlich gröfsere Differenzen an der Peripherie als im Zentrum auf. Die anatomische und experimentell physiologische Methode lehrt uns unzweifelhaft Tatsachen, welche an die Realität der Ungleichartigkeit einzelner Regionen des Zentralnervensystems nicht mehr zu zweifeln gestatten. Trotzdem mufs man zugestehen, dafs man aus dem vorhandenen Materiale die tiefgreifenden Unterschiede der Sinnesempfindungen nicht abzuleiten vermag. Hier bewährt sich die alles überragende Bedeutung der Funktionsanalyse, welche genau das ergibt, was in klassischer Weise JOHANNES MÜLLER in den knappen Sätzen niederlegte, in denen er das Gesetz der spezifischen Sinnesenergie aussprach und begründete. Auf dem Wege des Ausschlusses gelangen wir zu dem Resultate, dafs die Bedingungen für die Eigenart der Qualität einer Empfindung von einem Innenmomente abhängen, welches nicht gelegen ist in den peripheren Sinnesorganen, wahrscheinlich nicht in den peripheren Nervenfasern, vielmehr seinen Sitz hat im Zentralnervensystem.

Nicht ohne Absicht habe ich in den ganzen voraufgehenden Darlegungen mit möglichster Reserve diejenigen Momente unserer inneren physiologischen Organisation besprochen, welche in Zusammenhang mit der Entstehung der verschiedenen Empfindungen gebracht werden. Es geschah dies vor allem deshalb, weil die Anerkennung des Gesetzes der spezifischen Sinnesenergie durchaus nicht verhindern soll den berührten Schwierigkeiten ins Gesicht zu sehen. Der gegenwärtige Stand unserer Kenntnisse ist eben, trotz aller Fortschritte, ein solcher, dafs die Schwierigkeiten noch im vollen Umfange bestehen.

Es könnte an dieser Stelle die Frage aufgeworfen werden, ob es nicht richtiger wäre, allen diesen Problemen dadurch ein für allemal auszuweichen, indem man das Gesetz der spezifischen Sinnesenergie einfach verwirft und behauptet, dafs die Verschiedenheit der Empfindung von der Verschiedenheit der einwirkenden Reize herrühre. Dieser von Wundt u. a. eingeschlagene Weg ist aber ungangbar. Ich halte es für unangebracht, meine Darstellung mit der Wiederholung aller der Argumente zu belasten, welche zugunsten des Gesetzes der spezifischen Sinnesenergie vorgebracht worden sind. Wer vorurteilsfrei den Darlegungen von Johannes Müller, von Helmholtz, Hering, Oehrwall und v. Uexküll gefolgt ist, wird sich der Erkenntnis nicht verschliefsen können, dafs die Wucht ihrer Tatsachen und die Eindringlichkeit ihrer kritischen Erwägungen durch keinerlei Einwände der Gegner im mindesten abgeschwächt worden sind. Ich will daher nur einige der Argumente anführen, welche auf Grund neuerer Erfahrungen in recht prägnanter Weise zum Beweise dienen können. Die Qualität der Empfindung soll nach den Anschauungen der oben erwähnten Gegner primär durch Eigenschaften des einwirkenden Reizes bedingt sein. Nun treten aber unter bestimmten Umständen Empfindungen auf, denen direkt kein von aufsen her einwirkender Reiz zugrunde liegt: hierher gehören z. B. die schon früher erwähnten Kontrastempfindungen. Einer im Nachbild des geschlossenen Auges erscheinenden Kontrastfarbe entspricht gar kein von aufsen her wirkender Vorgang, dessen Eigenschaften irgendwie in der Empfindung sich wiederspiegeln könnten; denn diese Kontrastfarben entwickeln sich kraft innewohnender Eigenschaften des Auges. Unter den Raumempfindungen des Auges finden sich gleichfalls recht bemerkenswerte Beispiele dafür, dafs eine Zurückführung einer Sinnes-

qualität auf Eigenschaften des sie auslösenden Reizes nicht möglich ist. Die einfachen Richtungsempfindungen z. B. sind das Resultat einer eigentümlichen funktionellen Verknüpfung des Doppelauges und es dürfte schwer sein, eine Definition desjenigen zu geben, was dem zugehörigen Aufsenvorgange die Befähigung zur Erzeugung einer Richtungsempfindung verleiht. Ähnliches liefse sich auch für andere Raumempfindungen anführen. Naturgemäfs können die hier aus der Lehre vom Raumsinn des Auges angedeuteten Beispiele nur für diejenigen Beweiskraft haben, welche das Räumliche einer Empfindung ebenso für eine Qualität halten wie das Helle, das Tönende oder das Duftende. Ein weiteres typisches Beispiel ist die Empfindung des Glanzes. Der Glanz, welcher als Empfindung etwas durchaus Einfaches ist, kommt bekanntlich zustande durch zwei verschiedene gleichzeitige Einwirkungen auf beide Augen, von denen jede einzelne für sich etwas ganz anderes verursacht. Der aus dieser Kombination resultierenden Empfindung haftet nichts an, was dazu berechtigte, ihre Qualität aus irgend einer Eigenschaft des Aufsenvorganges abzuleiten. Mit Recht haben die Anhänger des Gesetzes der spezifischen Sinnesenergie auf die hohe Bedeutung des Nachweises der Wärme- und Kältepunkte hingewiesen. Dabei wurde bisher immer besonderer Nachdruck auf die Tatsache gelegt, dafs die Temperaturpunkte, gleichgültig ob sie mit dem adäquaten oder nichtadäquaten Reize gereizt wurden, soweit sie reagierten, immer mit der ihnen spezifischen Energie antworteten. Das Postulat, dafs verschiedenen Sinnesqualitäten auch verschiedene Sinnesapparate zugehören müssen, ist also durch die Entdeckung von Blix und Goldscheider vollauf im Sinne von Johannes Müller erfüllt worden. Aber man kann auch die neugewonnene Anschauung von der vollkommenen Trennung des Kälte- und Wärmesinnes in zwei durchaus selbständige Sinne nach einer anderen Richtung hin benutzen, die nicht minder wertvoll als Stütze für die Lehre von den spezifischen Sinnesenergien ist. Betrachten wir die objektiven oder physikalischen Vorgänge, welche den adäquaten Reiz der beiden Temperatursinne ausmachen, so stellen sie durchaus ein Kontinuum qualitativ gleicher und quantitativ nicht sehr verschiedener Geschehnisse dar. Ganz im Gegensatz hierzu springen wir bei den hierbei ausgelösten Empfindungen geradezu, wie man mit Oehrwall annehmen mufs, von einer Modalität in die andere über; dem-

nach haben wir auf der einen Seite ein Kontinuum, auf der anderen jenen tiefgreifenden und unüberbrückbaren Unterschied, der unser Sinnesleben auszeichnet. Man darf wohl die Frage aufwerfen, welche Eigenschaft ist es, die dem engen hier in Betracht kommenden Bereiche wohl charakterisierter Bewegungsvorgänge die Fähigkeit verleiht, Grundlage heterogener Gefühlsmodalitäten zu sein. Man sieht leicht ein, dafs die vollständige Diskrepanz der Empfindungen und im Gegensatz hierzu der enge Zusammenhang der verursachenden Reizvorgänge am einfachsten verständlich ist durch die völlige Unabhängigkeit der Empfindungsqualität von den Eigenschaften des Reizes. Die Beispiele, welche ich hier angeführt habe, liefsen sich beliebig vermehren, was ich aber nicht für nötig erachte. Ich will zum Schlufs vielmehr nochmals auf einen ganz allgemeinen Gesichtspunkt hinweisen, der am schärfsten wohl von Oehrwall zum Ausdruck gebracht worden ist. Bei näherem Zusehen findet sich nämlich, dafs wir gar nicht in der Lage sind, die Reize aus sich selbst heraus zu definieren, vielmehr wir stets die Empfindungen selbst dabei zu Hilfe nehmen müssen.

Ein letzter schwerer Einwand, welcher gegen die Gültigkeit des Gesetzes der spezifischen Sinnesenergie erhoben wird, ist dessen angebliche Unvereinbarkeit mit der in der modernen Biologie herrschenden Entwicklungslehre. Vornehmlich bei Wundt scheint dieser Punkt der eigentlich ausschlaggebende gewesen zu sein für die energische Verwerfung, welche er unserem Satze in allen Auflagen seines klassischen Lehrbuches der physiologischen Psychologie hat angedeihen lassen. Da, wie man zugestehen mufs, der auf die Entwicklungslehre sich gründende Widerspruch keine ernstliche Widerlegung bisher erfahren hat, hat die Wundtsche Kritik an vielen Orten Schule gemacht. Ehe ich den Versuch machen kann zu zeigen, wie die richtige Anwendung der Entwicklungsidee durchaus im Einklange mit dem Gesetz der spezifischen Sinnesenergie steht, habe ich zu vörderst einige Folgerungen aus dem bisher Dargelegten abzuleiten.

Wie wir sahen, müssen wir bei der Einteilung unserer Sinne ausgehen von den Empfindungen, welche durch sie vermittelt werden. Die Bewufstseinsinhalte nun, die wir gemeinhin als Empfindungen ansprechen, sind zumeist von sehr zusammengesetzter Natur. Daher mufs die wissenschaftliche Analyse als erste Aufgabe die lösen, jene komplizierten Erscheinungen in

ihre einfachen Elemente aufzulösen. Bei dem Versuch aber, die Elemente der Empfindungen festzustellen, stofsen wir auf eine bekannte eigentümliche Schwierigkeit. Ein sog. Element der Empfindung ist durchaus nur Sache der Abstraktion. Allein durch das Experiment gelingt es, einfache Empfindungen möglichst isoliert ins Bewufstsein treten zu lassen; aber selbst wenn die objektiven Bedingungen des Versuchs und der subjektive Zustand der Versuchsperson die denkbar günstigsten sind, ist das Resultat immer noch ein Eindruck, an dem sich mehr als ein Bestandteil unterscheiden läfst. An einer möglichst isolierten Lichtempfindung z. B. haftet unlösbar noch eine Raumempfindung. Nur dadurch, dafs wir in zusammengesetzten Empfindungskomplexen einen einzelnen bestimmten Bestandteil mit Hilfe des Experimentes getrennt für sich variieren können, sind wir in der Lage, gewisse Elemente der Sinnesempfindungen zu unterscheiden. Aus dieser Schwierigkeit oder, wenn man will, Unmöglichkeit isolierte Empfindungen nachzuweisen, ergibt sich meines Erachtens ein schwerwiegender Einwand gegen die Anschauung, dafs die Empfindungen die letzten Elemente seien, aus denen sich unsere Psyche aufbaut. Wenn, wie soeben gezeigt wurde, keine einzige Qualität als selbständiges Element vorkommt, scheint es mir ein Widerspruch zu sein, die Qualitäten als die Bausteine dessen zu beanspruchen, was unsere geistige Persönlichkeit ausmacht.

Die Möglichkeit, experimentell innerhalb der oben angegebenen Grenzen Empfindungen zu isolieren, hängt von drei Momenten ab:

1. Von der Gliederung der peripheren Aufnahmeapparate;
2. von der Eigenart der Empfindung selbst;
3. von der Entwicklungshöhe des betreffenden Sinnes.

Die Gliederung des peripheren Aufnahmeapparates ist insofern von Einflufs, als von ihr abhängt, ob die äufsere Einwirkung mehr oder weniger isoliert angreifen kann. Auge und Ohr sind durch ihren Bau davor geschützt, dafs beliebige Vorgänge der Aufsenwelt auf sie einwirken können; hingegen sind die auf dem nicht abgegrenzten weiten Areale der Haut liegenden verschiedenen Hautsinnesorgane auch den verschiedensten Einflüssen gleichzeitig ausgesetzt. Ein und derselbe Vorgang der Aufsenwelt vermag auch unter normalen Bedingungen gleichzeitig mehrere Sinnesapparate mit verschiedenen Qualitäten zu erregen. Dies

ist auch einer der Gründe gewesen, welcher die Trennung der verschiedenen Hautsinnesqualitäten so lange erschwert hat. Denn das durch periphere Ursachen bedingte gemeinsame Auftreten mehrerer verschiedener Sinnesqualitäten in demselben Eindrucke, wie es hier ungemein häufig vorkommt, bedingt natürlich eine gewohnheitsmäſsige psychische Verkettung, die erst besonderer Mittel zur Lösung bedarf.

Die Eigenart einer Empfindung ist von groſser Bedeutung dafür, ob man die Qualität derselben mit gröſserer oder geringerer sinnlicher Schärfe von allem anderen, was sonst dem Eindruck anhaftet, loslösen kann. Vor allem kommt hierbei der Gefühlston der betreffenden Empfindung in Betracht. Bei allen solchen Empfindungen, welche das Gefühl des Individuums lebhaft affizieren, tritt die Qualität vergleichsweise in den Hintergrund. Sehr auffallend kommt dieses Moment bei dem Vergleich zwischen der Gesichts- und der Gehörsempfindung zur Geltung. Es ist kein Zufall, daſs die experimentelle Analyse bei den Gesichtsempfindungen sehr viel weit gehender durchgeführt ist, als selbst beim Ohre, dessen physiologische Befähigung gerade zur Analyse stets hervorgehoben wird. Eine Gehörsempfindung affiziert sehr viel mehr die ganze Persönlichkeit als z. B. eine Farbenempfindung; die letztere ist, wie man sich ausdrücken kann, sehr viel affektloser als die erstere. Natürlich spielt bei der Beziehung zwischen Qualität und Gefühlston der individuelle Faktor eine recht erhebliche Rolle; doch dürfte es keine Schwierigkeiten machen diesem individuellen Faktor im einzelnen Fall Rechnung zu tragen. Es wird sogleich noch einmal auf die biologische Bedeutung des Zusammenhangs zwischen Qualität und Gefühlston zurück zu kommen sein. Zu dem, was ich als Eigenart der Empfindung bezeichnen möchte, gehört aber noch manches andere, beispielsweise die Fähigkeit zu kontrastieren oder zu irradiieren. Zwei miteinander kontrastierende Qualitäten lassen sich natürlich viel leichter isolieren als andere.

Die Entwicklungshöhe schlieſslich eines Sinnes hat einen groſsen Einfluſs darauf in wie weit man experimentell die einzelnen Bestandteile isolieren kann. An dieser Stelle ist nun der Ort, wo wir von der Entwicklungshöhe eines Sinnes reden, die oben zurückgestellte Frage nach der Möglichkeit der Anwendung der Entwicklungsidee gehörig zu erörtern. Die Sprache bedient sich des Ausdrucks höhere und niedere Sinne, aber vermeidet

mit Recht die Bezeichnung höhere und niedere Empfindungen. Vergleicht man nämlich die einzelnen Sinnesqualitäten im Zustande einer so weit wie möglich durchgeführten Isolierung miteinander, so läfst sich schlechterdings nicht die eine Qualität als hoch, die andere als niedrig bezeichnen. Blau, warm, salzig müssen als gleichwertig bezeichnet werden. Aus dieser Feststellung geht hervor, dafs die Frage nach der Entwicklung der Qualitäten, eine falsch gestellte Frage ist, denn sie setzt voraus, dafs es niedere Qualitäten gibt, die zu höheren entwickelt werden können.

Es ist nicht schwer sich darüber klar zu werden, welche Momente es sind, die einen Sinn zu einem höheren machen. Es sind dies vor allem psychische Verkettungen und die daraus resultierenden Verwertungen für die Bedürfnisse des Individuums. Besonders wichtige Beispiele solcher psychischen Verkettungen sind einmal die Verbindung mit dem, was wir Gedächtnis nennen; je schärfer das Gedächtnis für eine bestimmte Empfindungskategorie entwickelt ist, desto höher ist auch der betreffende Sinn. Sodann gehört hierzu die Fähigkeit einer Sinnesqualität mit anderen in Verbindung zu treten und zu höheren psychischen Qualitäten zu verschmelzen.

Der Aufbau der geistigen Persönlichkeit geschieht nun wesentlich mit Hilfe von Gedächtnis und Assoziation. Der Anteil, den hieran ein Sinn hat, bestimmt seine Rangordnung, ob er hoch oder niedrig sei. Die Qualität als solche hat hiermit, was ausdrücklich betont werden soll, nichts zu tun.

In welcher Art und Weise die Entwicklungsidee in der Sinnesphysiologie Anwendung zu finden hat, läfst sich mit Hilfe der vergleichenden Sinnesphysiologie ermitteln. Wir sind in der glücklichen Lage den grofsen Schwierigkeiten, welche die vergleichende Sinnesphysiologie darbietet, dadurch aus dem Wege zu gehen, dafs wir an uns selbst Vergleiche machen können. Wie v. Uexküll eindringlich gezeigt hat, mufs man sich davor hüten, von den Sinnesempfindungen anderer Lebewesen als möglichen Erfahrungstatsachen zu reden. Bei anderen Lebewesen können wir nur von der biologischen Bedeutung eines Sinnes reden, d. h. von den Beziehungen, die ein Sinnesorgan zu dem Milieu des Lebewesens vermittelt. Unter Verzicht auf jede Aussage über die etwaigen Qualitäten oder Empfindungen, welche die eben genannte Inrelationssetzung von Tier mit Milieu begleiten,

kann man wertvolle entwicklungsgeschichtliche Daten zur Sinnesphysiologie erhalten und diese bei dem Vergleich an uns selbst in geeigneter Weise verwerten. Die vergleichende Physiologie lehrt uns, dafs die niedrigste Art von Inrelationssetzung zwischen Tier und Umgebung in Form der richtenden Tropismen auftritt. Die Tropismen sind nun auch bei den höchststehenden Lebewesen noch wiederzufinden. Vorhof und Bogengänge des inneren Ohres sind Tropismen vermittelnde Apparate. Hier und da taucht gelegentlich ein Zweifel darüber auf, ob wirklich die Leistungen des Vorhof und Bogengangapparates als Leistung eines echten Sinnes aufzufassen seien. Nach dem, was ich oben als das biologische Charakteristikum eines Sinnes angeführt habe, kann darüber kein Zweifel bestehen. Wodurch zeichnet sich nun dieser recht tiefstehende Sinn aus? Offenbar dadurch, dafs an ihm keinerlei ins Bewufstsein tretende Qualität auffindbar ist. Es läfst sich nur konstatieren, dafs nachdem vermittels dieser Organe etwas völlig Qualitätloses rezipiert worden ist, eine Reaktion erfolgt in ähnlicher Art und mit gleichem Ziel wie bei anderen nicht blofs rezipierenden, sondern auch perzipierenden Sinnesorganen. Die somit gewonnene Erkenntnis von der tiefsten Form, in welcher ein Sinn oder vom vergleichenden physiologischen Standpunkt das Analagon zu einem Sinn auftritt, leitet auch zu einer brauchbaren Analyse der anderen Sinne. Wir sehen, dafs bei denjenigen Sinnen, welche wir gemeinhin als die tieferen bezeichnen, im Vergleich zu höheren die Qualität des Sinnes sehr erheblich zurücktritt. Sie fehlt nicht etwa, aber sie ist von vergleichsweise geringer Bedeutung. Bei den Empfindungen der Temperatur, bei einer ganzen Reihe Empfindungen des Tastsinnes, bei den Empfindungen des Geschmacks und des Geruches, ist der Eindruck, den das rein Qualitative dabei macht, etwas ziemlich Unbestimmtes und Nebensächliches. Man könnte den Tatbestand so ausdrücken: die Affizierung der Persönlichkeit, der Effekt, der auf die Stimmung gemacht wird, beherrscht so sehr das Bild, dafs das Qualitative dabei unter der Schwelle bleibt. Ich habe vorhin ausgeführt, dafs eine Erschwerung der Isolierung einzelner Qualitäten dadurch bedingt wird, dafs gewisse Empfindungen eine stärkere Gefühlstönung haben als andere, ein Verhalten, welches bei all den letzt genannten Sinnen zutreffend ist. Der ungemeine Reichtum z. B. des Geruchsinnes an Qualitäten ist denen nicht verborgen ge-

blieben, welche sich der Mühe unterzogen haben rein experimentell den Geruchssinn zu analysieren. Dieser Reichtum entzieht sich vollkommen unter gewöhnlichen Bedingungen unserer Erkenntnis, weil wir keine Veranlassung haben auf denselben zu achten. Alle diese niederen Sinne haben das gemeinsam, dafs sie für die Erhaltung der Existenz, insbesondere der zum nackten Leben allerunentbehrlichsten, nur maschinenmäfsig ablaufenden Lebensvorgänge nützlich und nötig sind. Um diese äufserst bedeutsame biologische Funktion zu erfüllen, bedarf es offenbar nicht des Hervortretens der Qualität, sondern es genügt eine Affizierung des Individuums zu energischer Reaktion, die besonders in der Intätigkeitsetzung der Schutzmittel besteht, welche dem Organismus zur Verfügung stehen. Dem Einwande, dafs das qualitative Moment der zuletzt genannten Empfindungen gerade dasjenige sei, welches den bestimmenden Anteil an der Reaktion besäfse, läfst sich durch eine neuere sehr bemerkenswerte Erfahrung von Sherrington begegnen. Dieser Forscher zeigte, dafs am Rückenmarkshunde, bei dem wir die Existenz von Empfindungsqualitäten zu leugnen berechtigt sind, an derselben Stelle der Haut angebrachte Reize verschiedene Reaktionen auslösten, je nachdem der Reiz ein solcher war, der am unversehrten Tiere eine Berührungs- oder Schmerzempfindung ausgelöst hätte. Wir sehen also, dafs zum Zustandekommen eines „noci-receptiven“ und eines „tango-receptiven“ Reflexes alles in Bereitschaft und ausführbar ist, ohne jede Beihilfe einer besonderen Empfindungsqualität. Diese genetischen Betrachtungen über die Sinne führen zu einer sehr verwandten Auffassung der Elemente des psychischen Geschehens, wie sie vor langen Jahren E. Pflüger in seinen klassischen Studien über die Rückenmarksreflexe vertreten hat. Bekanntlich nimmt Pflüger im Gegensatz zu sehr vielen anderen Physiologen eine „Rückenmarksseele“ an, d. h. ein an die Existenz des Rückenmarks geknüpftes, zwar sehr tief stehendes psychisches Geschehen, aber trotzdem seinem Wesen nach ein Geschehen nicht prinzipiell verschieden von dem, welches an die Existenx höherer Hirnteile gebunden gedacht wird. Er spricht von einem dumpfen Bewufstsein, ähnlich demjenigen, wie es gelegentlich im Schlafe auftauchen kann. Dieser Pflügersche Gedankengang hätte wohl mehr Zustimmung gefunden, wenn man nicht zumeist von der Vorstellung ausgegangen wäre, dafs die deutlich ausgeprägten Empfindungsquali-

täten die Elemente des psychischen Geschehens seien, ohne deren Vorhandensein von einer Psyche nicht geredet werden könne. Alle neueren Erfahrungen aber, welche in der Physiologie des Zentralnervensystems gemacht worden sind, sprechen dafür, dafs seelische Leistungen noch nachweisbar sind, wenn durch natürliche oder experimentelle Bedingungen das Vorhandensein von Empfindungsqualitäten ausgeschlossen wird. Die Belege für diese Behauptung finden sich in den schönen Studien von Goltz über den grofshirnlosen Hund und in Paul Flechsigs bedeutsamer Monographie „Gehirn und Seele". Namentlich in letzterer Schrift wird der hier angedeutete Gedankengang nicht allein auf anatomischer, sondern auch auf einer Basis experimenteller und pathologischer Erfahrungen gegründet. Ganz im Gegensatz zu den niederen Sinnen ist bei den höheren Sinnen die Qualität der Empfindung ein sehr hervorstechendes Merkmal. Bei Auge und Ohr tritt hingegen alles das zurück, was bei den niederen Sinnen das auffallendste war: die Lebenswichtigkeit, die Gefühlstönung — natürlich ist hier von der künstlerischen Gefühlstönung absolut nicht die Rede — die Erweckung der Triebe. Vielleicht wäre es richtiger sowohl hier wie auch an früheren Stellen, wo ich von Gefühlsauslösung durch die Sinne gesprochen habe, eher von einer solchen der Triebe zu reden. Der Anteil, den Auge und Ohr an der Gesamtheit der psychischen Erscheinungen des Menschen nimmt, ist tatsächlich aufgebaut aus einzelnen Bausteinen, welche repräsentiert werden durch die leicht voneinander zu unterscheidenden, sinnfällig deutlichen, und deshalb auch im Gedächtnis fest haftenden Qualitäten, der Farben und der Töne.

Es ist nicht schwer bei diesen höheren Sinnen niedere und höhere Entwicklungsstufen zu unterscheiden, wenn man die Analyse dieser Sinne nicht von einem physikalischen, sondern von einem biologischen und psychologischen Standpunkte aus durchführt. Da bei dem Gesichtssinne diese letztere Art der Analyse in sehr vollkommener Weise vorliegt, will ich einige Beispiele diesem Sinne entnehmen. Die Empfindungen des Hellen und Dunkeln sind offenbar die früher entwickelten. Dafür spricht, dafs alle Orte der Netzhaut befähigt sind die Empfindungsreihe des Hellen und Dunkeln auszulösen, und ferner dafs diese Empfindungen auch unter Bedingungen zu stande kommen können, wo die Farbenqualitäten absolut aus-

geschlossen sind. Eine andere Stütze für die Annahme, dafs hell und dunkel genetisch die früher existierenden Qualitäten sind, entnehme ich Beobachtungen an seelenblinden Personen. Bei dieser ist die Unterscheidung von hell und dunkel noch deutlich vorhanden, ja die Unterschiedsempfindlichkeit in der schwarz-weifs Reihe ist eine nicht unbeträchtliche, während die Farbenwahrnehmung geschwunden ist.

Anmerkung: Ich verdanke Herrn Professor Dr. Fr. Müller, Direktor der II. medizinischen Klinik in München die Gelegenheit an einem sehr instruktiven Falle von Seelenblindheit einige Untersuchungen über Licht und Farbenempfindungen haben anstellen zu dürfen. Mit den Holmgrenschen Wollproben untersucht, ergab sich zunächst das typische Bild der Rotgrünblindheit. Sehr gesättigt blaue Farben wurden als bläulich anerkannt, die gelben Wollstreifen aber als hell bezeichnet. Es scheint demnach, dafs von den Farbenqualitäten die Blau- und Gelbempfindung noch schwach vorhanden war. Kleine Papierscheiben von barytweifs wurden prompt als weifs angegeben. In einer Serie von Scheiben grauen Papiers verschiedener Helligkeit und Dunkelheit wurden die verschiedenen Helligkeitsstufen mit einer jedenfalls gröfseren Sicherheit unterschieden, wie die Farbenqualitäten, soweit sie noch vorhanden waren.

In einer Studie von Fr. Müller (Ein Beitrag zur Kenntnis der Seelenblindheit, *Arch. f. Psychiatrie* 24) finden sich sehr wertvolle Beobachtungen und Analysen über die Beziehungen zwischen Störungen des Farbensinns und Seelenblindheit. Es ist mit Rücksicht auf das hier gesagte interessant zu erfahren, dafs Müller bei seinen Fällen auf das gute Sehvermögen neben der Störung des Farbensinns hinweist.

Wenn ich im letzten Abschnitte gewisse Qualitäten genetisch als die älteren bezeichnete, so darf daraus ja nicht gefolgert werden, dafs die jüngeren irgendwie aus den älteren sich entwickelt hätten. Ganz im Gegenteil zielten alle meine Betrachtungen über die Anwendung der Entwicklungsidee in der Sinnesphysiologie dahin, zu zeigen, dafs jede Qualität für sich autochthon ist. Es ist meines Erachtens ganz ausgeschlossen, dafs aus einer Qualität mehr elementarer und unbestimmter Natur sich etwa andere herausdifferenziert hätten. Diesen Gedanken hat Wundt, dem sich früher Nagel mit der Hypothese der Wechselsinnesorgane angeschlossen hat, vertreten. Vielleicht wurde er hierzu bewogen, weil er dadurch seiner Annahme, dafs etwas dem Reizvorgange Anhaftendes die Qualität der Empfindung bestimme, Rechnung tragen konnte. Auf jener Annahme fufsend konnte behauptet werden, dafs sich die lange Zeit den verschiedenen äufseren Reizvorgängen ausgesetzten Sinnesorgane allmählich

denselben anpafsten und durch diese Anpassung auch die ursprünglich gleichartigen Empfindungen umwandelten in die Verschiedenartigkeit, wie sie jetzt vorgefunden wird. Das Unzutreffende der Voraussetzung sowie der Folgerung wurde im Voraufgegangenen darzulegen versucht. Die Qualitäten hängen nicht vom Reizvorgang ab; der Reizvorgang hat daher auch keinen Einflufs auf ihre Entwicklung gehabt. Keine Qualität hat sich aus der anderen entwickelt, sondern die Qualitäten sind einzeln sekundär hinzugekommen zu einem Bewufstseinsinhalte, welcher das Primäre an dem Sinneseindruck war. Dieses Primäre ist ein Etwas, was zur Erweckung von Trieb und Affekt notwendig und hinreichend ist. Die Qualitäten hingegen dienen höheren Funktionen und sind, je feiner sie entwickelt und demzufolge erkennbar und unterscheidbar sind, der Sphäre des Triebes und des Affektes entrückt. Ich glaube durch alle diese Betrachtungen gezeigt zu haben, dafs die Entwicklungsidee und das Gesetz der spezifischen Sinnesenergie in keinerlei Widerspruch miteinander stehen. Mit diesem Nachweise ist der Haupteinwand gegen das Gesetz der spezifischen Sinnesenergie hinfällig geworden.

Unser Erklärungsbedürfnis verlangt natürlich nach einer Vorstellung, wie etwa die einzelnen Qualitäten entstanden sein können. Wir müssen, um hierzu zu gelangen, einen sehr grofsen Sprung machen, wie das so oft in der Biologie notwendig ist, einen Sprung vom Geistigen zum Körperlichen hinüber. Auch auf dem Gebiete des Körperlichen ist unsere Kenntnis von dem Modus, wie eine neue Funktion oder eine neue oder abgeänderte Eigenschaft eines Organes sich entwickelt, recht mangelhaft. Es gibt nun eine Erscheinungsreihe, wo wir nicht gezwungen sind, rein historisch zu verfahren, sondern das Auftreten ganz neuer Eigenschaften im lebendigen Körper durch experimentelle Eingriffe vor unseren eigenen Augen entstehen sehen können. Die neuere Immunitätslehre hat uns derartige überraschende Beobachtungen ermöglicht. Durch Injektionen der verschiedensten Eiweifskörper, Fermente, Toxine usw. gewinnen die Säfte und wohl auch die Zellen des Organismus ganz neue und spezifische Wirkungen, welche vorher gar nicht vorhanden waren, ja von denen es sogar ganz unverständlich ist, dafs die Entwicklungsmöglichkeit dazu überhaupt vorhanden ist. Denn viele dieser künstlich herbeigeführten neuen Funktion bzw. Eigenschaften sind entstanden unter Bedingungen, von deren Vorgesehensein

im Bauplan der Organismen etwas zu ahnen nichts uns berechtigte. Wir sehen daher, dafs im Organismus aufser den realen aktiven Funktionen gewissermafsen auch noch virtuelle, schlummernde Funktionen vorhanden sind. Ich möchte, um diesen einen Namen zu geben, dieselben als vitale Potenzen bezeichnen. Diese vitalen Potenzen entstehen, wie das Experiment uns lehrt, ganz sprunghaft, etwa so, wie sich nach der von DE VRIES begründeten Mutationslehre die Entwicklung der Organismen gestaltet. Ganz ähnlich hat man sich die Entstehung der einzelnen spezifischen Energie zu denken. In jenem gemeinsamen Boden, in dem die einzelnen Empfindungsqualitäten wurzeln, sind auch die Bedingungen gegeben für die Entstehung aller möglichen Qualitäten je nach den Bedürfnissen des Organismus. Die spezifischen Energien sind gewissermafsen, ehe sie in die bewufste Erscheinung treten, im Nervensystem vorgebildet als virtuelle Energien. Die biologischen Erfordernisse des Organismus lassen sie, auf eine uns noch unbekannte Art, zur Entstehung gelangen. Die Hypothese, welche ich skizziert habe, vermag erstens zu veranschaulichen, wie jede einzelne Qualität, unabhängig von den anderen Qualitäten, als etwas Autonomes und Ursprüngliches entstanden ist, und zweitens die Tatsache dem Verständnis näher zu rücken, dafs in Wahrheit der Qualitätenkreis eine schier unbegrenzte Mannigfaltigkeit ist. Die Mannigfaltigkeit, welche der Farbensinn bei farbentüchtigen Individuen haben kann, ist bekannt. In recht zutreffender Weise scheint mir NAGEL die Verhältnisse beim Geruchsinn geschildert zu haben: „Der Geruchsinn nimmt darin eine Sonderstellung unter den Sinnen ein, dafs jeder Mensch täglich in die Lage kommen kann, neue Qualitäten dieses Sinnes zu empfinden, d. h. neue Gerüche kennen zu lernen, die er bisher nie empfunden hat. Daraus ergibt sich schon, dafs im Geruchsorgan die Bedingungen für das Zustandekommen fast unendlich mannigfaltiger Empfindungen gegeben sind, die tatsächlich bei sehr vielen Menschen nur zu einem kleinen Teil wirklich einmal ausgelöst werden.“ Ich glaube, dafs die Hypothese, welche ich über die Entstehungsmöglichkeit der einzelnen Qualitäten gegeben habe, diese von NAGEL dargelegten Verhältnisse dem Verständnis erheblich näher zu rücken vermag. Aus der von WUNDT und anderen Gegnern der spezifischen Sinnesenergie vertretenen Auffassung über die angebliche Entwicklung der höheren aus tieferen

mehr allgemeineren Qualitäten und über die Abhängigkeit dieser Entwicklung von der Anpassung an die Reizvorgänge der Aufsenwelt kann der Sachverhalt jedenfalls nicht erklärt werden.

Von allen Seiten her betrachtet besteht das Gesetz der spezifischen Sinnesenergie nach wie vor zu Recht. Keine Erfahrung und keine theoretische Betrachtungsweise, welche seit der Aufstellung dieses Gesetzes durch Johannes Müller zutage getreten ist, hat die Gültigkeit desselben erschüttern können. Daher wird dasselbe auch fortfahren müssen, den Ausgangspunkt zu bilden für die weitere Erforschung unserer Sinnesempfindung. Der Erforschung wird keineswegs durch Festhalten an diesem Gesetze ein Weg vorgeschrieben, wodurch dieselbe in enge Schranken gebannt und an ein Vordringen zu neuen Erkenntnissen gehemmt würde. Gleich wie die Erforschung des Lebendigen keinen Schaden gelitten hat, dafs wir verzichtet haben, das Lebende anders entstanden uns zu denken als wiederum aus lebendigem, vielmehr wir damit, soweit naturwissenschaftliche Erfahrung reicht, vollauf auskommen, ebenso dürfte die Lehre, dafs die Empfindungen Schöpfungen seien, die im Träger der Empfindungen entstehen, allen Anforderungen der experimentellen Sinnesphysiologie genügen. Denn es ist derselbe Grundsatz, den wir mit Erfolg bei allen anderen Funktionen des Lebendigen anwenden.

Die praktischen Folgen für diejenigen, welche das Gesetz der spezifischen Sinnesenergie zur Grundlage der allgemeinen Sinnesphysiologie machen, sind nicht gering. In jüngster Zeit hat besonders Oehrwall in scharfsinniger Weise darauf aufmerksam gemacht, dafs die Klassifikation der einzelnen Sinne des Menschen ausschliefslich nach den Qualitäten zu erfolgen habe. Schwierigkeiten entstehen erst da, wo es sich um die Abgrenzung dessen handelt, was Helmholtz als Modalität und Qualität unterschieden hat. Die Helmholtzschen Qualitäten sind, wie sich Oehrwall ausgedrückt hat, dadurch ausgezeichnet, dafs man im Bewufstsein einen kontinuierlichen Übergang von der einen zur anderen beobachten kann; sämtliche derartige kontinuierlich zusammenhängende Qualitäten gehören demnach einer und derselben Modalität, einem und demselben Sinne an. Die Modalitäten hingegen wären diejenigen Bewufstseinsinhalte, welche gänzlich voneinander verschieden, unvermittelt, ohne jeden Übergang bestehen. Diese Definitionen von Oehrwall

haben etwas sehr Ansprechendes und die praktische Anwendung, die er macht, führt zu einer recht konsequenten Einteilung der Sinne. Vielleicht wäre es aber in mancher Hinsicht einfacher, die Unterscheidung von Modalität und Qualität fallen zu lassen und nur von Qualitäten zu reden. Die im Bewufstsein auftretenden Qualitäten würden sich gliedern in solche, welche durch einen gemeinsamen Bestandteil etwas Verwandtes an sich hätten, und solche, welche keinerlei Verwandtschaft mit irgend einer anderen besäfsen. Alle Qualitäten, welche einen gemeinsamen Empfindungsbestandteil erkennen lassen, gehören zu einem und demselben Sinn. Ohne weiteres ist ersichtlich, dafs allen Farbenempfindungen und allen Gehörsempfindungen je ein gemeinsames Moment anhaftet; ebenso leicht ist das gemeinsame in den Tast- oder Druckempfindungen nachweisbar. Hingegen ist das Fehlen irgend einer Gemeinsamkeit zwischen z. B. einer Farben- oder Druckempfindung ohne weiteres einleuchtend. Es könnte nach dem soeben Gesagten scheinen, als ob die Unterlassung der Unterscheidung zwischen Modalität und Qualität und die Ersetzung durch die Begriffe verwandte und nicht verwandte Qualitäten, nur ein Unterschied in der Nomenklatur und nicht in der Sache sei. Das ist aber nicht der Fall. Schon bei der Analyse des Geschmack- und Geruchsinns zeigt sich ein Vorzug der hier vorgeschlagenen Einteilungsart vor der anderen. Es ist gar nicht leicht, die begrifflich so wohl definierte Einteilung von OEHRWALL bei diesen Sinnen durchzuführen, und tatsächlich haben einige Forscher als Modalität bezeichnet, was andere nur als Qualität gelten lassen. Es wurde oben gezeigt, dafs ein Empfindungselement, bis zu welchem man eigentlich für eine rationelle Einteilung vorzudringen hätte, nur begrifflich und nicht tatsächlich realisierbar ist, und dafs die relative Isolierung einer einzelnen Qualität sehr erschwert ist durch eine Reihe von Bedingungen, welche gerade bei den niederen Sinnen am meisten vorhanden sind. Vieles bei diesen niederen Sinnen scheint verwandt und wird zum Qualitätenkreis gerechnet, einfach weil nicht zur Qualität gehörige Teile des Bewufstseinsinhaltes mit der Qualität verknüpft auftreten. Die betreffenden Qualitäten aber, allein für sich untersucht, zeigen gar nichts Verwandtes. Andererseits mag der eine oder der andere Forscher das Gemeinsame oder Verwandte in zwei Qualitäten nicht anerkannt haben, und sie deshalb zu den Modalitäten gerechnet haben, weil wiederum

etwas, was nicht zum Qualitätenkreise gehört und der Empfindung anhaftet, das Gemeinsame unterdrückt hat. Noch viel wichtiger ist aber folgendes. Je zwei möglichst voneinander isolierte Qualitäten sind gleich verschieden, ob sie nun zu einem und demselben oder zu zwei verschiedenen Sinnen gehören. Es ist nur der Umstand, ob zu je zwei solchen Eindrücken etwas beiden Gemeinsames oder nicht Gemeinsames hinzutritt, der entscheidet ob man die Empfindungen als verwandt oder nicht verwandt bezeichnet. Demnach besteht der Unterschied zwischen den Modalitäten und den Qualitäten nicht in ihren letzten Elementen, die man in der Abstraktion isolieren kann, sondern in etwas drittem, was hinzutritt oder fehlt. Es scheint mir daher geratener, nur von Qualitäten zu sprechen und von Qualitäten mit gemeinsamen und nicht gemeinsamen Bestandteilen zu reden. Als Physiolog wird man das Bedürfnis empfinden, diese Ausführungen nicht bloſs als theoretische Betrachtungen gelten zu lassen, sondern sich auch einer praktischen Nutzanwendung derselben zu versichern. Jede Reaktion der nervösen Substanz auf einen äuſseren Anstoſs wird eine spezifische sein, und u. a. die Entstehung einer bestimmten Qualität fördern. Je höher entwickelt nun eine nervöse Substanz ist, desto mehr wird sie befähigt sein zur Auslösung verschiedener Qualitäten; aber neben diesen verschiedenen Qualitäten wird die zu ein und demselben Sinne gehörende Nervensubstanz etwas Gemeinsames in der Reaktion haben, was auch in den zugehörigen Qualitäten als Gemeinsames zum Ausdruck gelangt. Man sieht ferner, daſs die Unterlassung der Klassifizierung in Modalitäten und Qualitäten einen weiteren Einwand beseitigt, der gegen die allgemeine Durchführbarkeit des Gesetzes der spezifischen Sinnesenergie erhoben wird. Man behauptet (z. B. WEINMANN und NAGEL), daſs das MÜLLERsche Prinzip durchbrochen wird, wenn es im Sinne von HELMHOLTZ und HERING auf die Qualitäten eines einzelnen Sinnesgebietes ausgedehnt wird. Es ist dem nicht so, weil die Qualitäten desselben und zweier verschiedener Sinne, soweit sie sich in der Abstraktion isolieren lassen, einen gleich groſsen Unterschied voneinander zeigen.

Zum Schlusse noch eine Bemerkung theoretischer Natur betreffend die allgemeine Sinnesphysiologie. Aus der Annahme, daſs im Träger der Empfindung bzw. in dessen nervöser Substanz die Bedingungen liegen für die Eigenart der Empfindung,

dafs jede einzelne Sinnessubstanz ihre eigene Reaktion besitzt, folgt, dafs wir eine für ein bestimmtes Sinnesorgan gültige Theorie nicht ohne weiteres auf ein anderes Sinnesorgan übertragen dürfen. Wenn irgendwo, so ist für die Sinnesempfindungen Individualisierung und nicht Verallgemeinerung Gebot.

Literaturverzeichnis.

P. Flechsig, Gehirn und Seele. Leipzig 1896.

H. v. Helmholtz, Handbuch der physiologischen Optik. Berlin 1896.

E. Hering, Über die spezifische Energie des Nervensystems. Lotos. N. F., V, 1884.

E. Mach, Analyse der Empfindungen. Jena 1902.

J. Müller, Handbuch der Physiologie des Menschen. Koblenz 1838.

W. Nagel, Die Lehre von den spezifischen Sinnesenergien. Handbuch der Physiol. d. Menschen. Braunschweig 1905.

Derselbe, Der Geruchsinn. Ebda.

H. Oehrwall, Über die Modalitäts- und Qualitätsbegriffe in der Sinnesphysiologie. Skand. Arch. f. Physiologie II, 1901.

J. v. Uexküll, Psychologie und Biologie in ihrer Stellung zur Tierseele. Ergebnisse der Physiologie II, 1902.

R. Weinmann, Die Lehre von den spezifischen Sinnesenergien. Leipzig 1895.

W. Wundt, Physiologische Psychologie. Leipzig 1902.

(Eingegangen am 25. Mai 1906.)

(Aus dem psychologischen Institut der Universität Göttingen.)

Über Lokalisation von Druckreizen der Hände bei verschiedenen Lagen der letzteren.

Von

Dr. Hans Rupp,

Assistent am psychologischen Institute.

(Schlufs.)

Inhaltsverzeichnis.

Kapitel II.

Erklärung der Resultate der Zeitmessung.

§ 17. Es hat sich in den vorstehenden Paragraphen gezeigt, dafs die Reaktionszeiten für die einzelnen Lagen verschieden sind. Es handelt sich nun darum, diese Verschiedenheiten zu erklären. Wenn die Dauer eines Reaktionsvorganges eine gröfsere ist als die eines anderen, so mufs sich zwischen ihnen irgend ein Unterschied aufweisen lassen. Da nur Fälle verglichen werden, in welchen dieselbe Hautstelle berührt ist, ist nicht anzunehmen, dafs in der zentripetalen Leitung ein Unterschied besteht. Hingegen kann schon die Zeit verschieden sein, die die Berührung braucht, um zum Bewufstsein zu kommen und die Aufmerksamkeit auf sich zu konzentrieren. Hauptsächlich aber wird der Vorgang der Erkennung sehr verschieden lang dauern bei den verschiedenen Lagen. Es können, selbst wenn die reproduzierenden und die reproduzierten Erregungen oder Vorstellungen von derselben Art sind, doch ihre Reproduktionsstärken und -zeiten verschieden sein; es kann auch sein, dafs bei demselben Vorgang ganz verschiedenartige Vorstellungen reproduziert werden, oder es kann zur Entscheidung nötig sein, bei der einen Lage mehr Vorstellungen zu reproduzieren als bei einer anderen Lage usw. Dieses Spiel der Assoziationen, so weit es möglich ist, zu verfolgen und dadurch gleichzeitig die erhaltenen Reaktionszeiten zu erklären, ist der Zweck dieses Kapitels.

Um zu erkennen, was für Vorstellungen reproduzierend wirken oder reproduziert werden, gibt es zwei Quellen: die

Selbstbeobachtungen und die Täuschungen. Inwiefern die letzteren dies vermögen, wird an den Beispielen klar werden. Bezüglich der Selbstbeobachtungen ist zu betonen, dafs ich natürlich nur Selbstbeobachtungen über den einzelnen Vorgang, sofern er noch frisch in Erinnerung war, herangezogen habe. Da sich in diesem Vorgang von dem Momente an, in welchem die Berührung gespürt wurde, bis zur Entscheidung sowohl bei verschiedenen Vpn. wie auch unter verschiedenen Umständen ein gewisses Grundschema erkennen liefs, von dem nur ausnahmsweise abgewichen wurde, so gebe ich dieses Schema hier an, bevor ich auf die einzelnen Unterschiede innerhalb des Grundschemas, welche sich unter besonderen Umständen zeigten, eingehe. Das Schema ist folgendes: Wenn die Berührungsempfindung auftritt, ist sie meistens sofort an einen bestimmten Ort des Raumes lokalisiert. Mit mehr oder weniger grofser Geschwindigkeit gruppiert sich dann in vielen Fällen ein visuelles Bild der Umgebung um die berührte Stelle. Zunächst und oft gleichzeitig mit der Berührungsstelle selbst erscheint das Bild des berührten Fingers in seiner Lage, bei sehr einfachen Lagen auch das Bild einer gröfseren Partie der berührten Hand. Dieses Bild wird so lange vergröfsert und verdeutlicht, bis auf Grund desselben eine Entscheidung über die Hand oder den Finger möglich ist. Meistens bleibt aber das Bild auf die eine berührte Hand beschränkt. Statt des visuellen Bildes oder gleichzeitig mit ihm kann auch ein lokalisiertes Gefühlsbild auftreten, indem Partien der Hand an bestimmten Stellen des Raumes gefühlt werden. Eine Abweichung von diesem Schema bedeutet es, wenn Finger und Hand nicht auf Grund von räumlichen Vorstellungen, sondern blofs nach einem eigentümlichen Gefühl der Tastempfindung bestimmt werden; so erklärte z. B. Vp. Baade häufig und mit grofser Bestimmtheit, dafs er sich über den Ort der Berührungsstelle im Raume, über die Lage des Fingers und der Hand keine Rechenschaft gebe, sondern nur auf Grund des charakteristischen Gefühls der Berührungsempfindung urteile.

Innerhalb des genannten Hauptschemas gibt es nun bedeutende Differenzen, welche teilweise auf Zufälligkeiten beruhen, zum grofsen Teil aber für bestimmte Handlagen, für bestimmte Reaktionsurteile und für bestimmte Vpn. charakteristisch sind, und aus denen sich auch die Verschiedenheiten der Reaktionszeiten erklären.

§ 18. Um die im vorigen Paragraphen gestellte Aufgabe zu lösen, will ich zuerst die Faktoren besprechen, aus welchen sich die verschiedenen Reaktionszeiten bei e i n f a c h e r R e a k t i o n erklären, und abschätzen, inwieweit die verschiedenen Reaktionszeiten durch die Wirksamkeit dieser Faktoren beeinflufst werden. Sie sind nur von untergeordneter Bedeutung, das Hauptinteresse betrifft die übrigen Faktoren, so dafs es nötig ist, um den Einflufs dieser letzteren zu erfahren, die Differenzen in Abzug zu bringen, welche sich aus den ersteren ergeben.

Wie im § 16 gezeigt, hatten zwei Vpn. bei den Lagen mit weit voneinander entfernten Berührungsstellen längere Reaktionszeiten geliefert als bei der Lage mit nahe liegenden Berührungsstellen. Der Grund besteht wohl in folgendem: Wenn z. B. eine links liegende Spitze berührt war, so hat sich offenbar eine, wenn auch sehr schwache Einstellung auf diesen Ort des Raumes gebildet. Wird dann im nächsten Versuche eine anderswo liegende Stelle berührt, so wird die Konzentration auf dieselbe um so schwieriger sein, je weiter sie von der vorher berührten Stelle entfernt ist. Aus dieser Annahme erklärt sich erstens, dafs die Lagen, in welchen die Berührungsstellen innerhalb eines kleineren Raumes liegen, kürzere Reaktionszeiten haben, und zweitens, dafs für diese Vpn. zwischen den Lagen mit weit voneinander entfernten Berührungsstellen kein oder nur ein geringer Unterschied besteht. Die kleinen Differenzen zwischen den Lagen ↖↗ 1 oben und 5 oben bei Vp. Dr. Katz und zwischen ↑↑ und ↖↗ bei Vp. Dr. Brunswig erklären sich vermutlich daraus, dafs bei den Lagen mit kürzeren Reaktionszeiten die berührte Seite zugekehrt war.

Die eben gegebenen Erklärungen setzen voraus, dafs die Vpn. den Reiz lokalisiert haben. Besteht umgekehrt zwischen den Lagen ↑↑ und ↗↖ kein Unterschied der Reaktionszeiten, so kann man, wenn die Erklärung richtig ist, folgern, dafs die Vp. wenigstens vor der Reaktion nicht lokalisiert hat. Die Resultate, welche ich mit den Vpn. Jacobs und Baade erhalten habe, würden sich auf diese Weise erklären. Ob man durch Selbstbeobachtung sicher entscheiden kann, dafs man schon vor der Reaktion lokalisiert hat, ist bei der Kürze des ganzen Reaktionsvorganges zu bezweifeln.

Bei den Handfingerkreuzungslagen sind die Berührungsstellen ungefähr auf denselben kleinen Raum beschränkt wie bei der Fingerkreuzung. Dennoch sind die Reaktionszeiten für einfache

Reaktion gröfser. Es mufs also nach einer neuen Ursache für dieses Verhalten gesucht werden. Diese besteht wahrscheinlich darin, dafs bei den Handfingerkreuzungslagen die bei der Berührung entstandene Empfindung durch die vielen und starken Empfindungen, welche von der gegenseitigen Berührung der Hände herrühren, übertönt und infolgedessen erst später bemerkt werden. Vielleicht wirkt auch der Umstand mit, dafs es bei diesen Lagen schwerer ist, die Berührung zu lokalisieren, dafs also die Vp., trotzdem sie es nicht nötig hätte, doch bis zu einem gewissen Grade vor der Reaktion den Reiz lokalisiert.

Um die angegebenen Erklärungen streng zu rechtfertigen, bedürfte es einer gröfseren Reihe von Versuchen, die ich aber vorläufig nicht angestellt habe, weil sie für die jetzige Untersuchung nicht notwendig waren. Es läfst sich leicht zeigen, dafs, einen Fall ausgenommen, alle eben genannten Faktoren im folgenden vernachlässigt werden können. Zunächst sieht man, dafs bei Lagen mit getrennten Händen und bei verschiedenen Lagen einer Hand eine Übertönung ausgeschlossen ist und eine solche daher auf die Verschiedenheit in den Reaktionszeiten dieser Lagen keinen Einflufs haben kann. Ferner ist bei den Lagen ↑↑, ↖↗ und ↙↘ der Raum, in welchem die Berührungsstellen liegen, gleich grofs; infolgedessen wird sich die Aufmerksamkeit auf dieselben bei allen diesen Lagen gleich leicht konzentrieren. Dasselbe gilt von allen Lagen einer Hand. Was die verschieden schwierige Konzentration der Aufmerksamkeit auf die berührte Seite betrifft, so hatten zufällig bei Vergleichung der Lagen ↖↗ 1 oben, ↖↗ 5 oben und → 1 oben, → 5 oben diejenigen Lagen die längeren Reaktionszeiten, bei welchen die berührte Seite zugekehrt war. Auch hier müssen daher die sich zeigenden Differenzen der Reaktionszeiten auf anderem Wege erklärt werden. Bei Vergleichung der Handfingerkreuzungslagen mit ungekreuzten oder mit einfach gekreuzten Lagen spielt allerdings die Übertönung wahrscheinlich mit; jedoch sind die Differenzen der Reaktionszeiten so grofs, dafs sie sicher nicht durch Übertönung allein erklärt werden können, um so mehr als sich mit Sicherheit andere Faktoren angeben lassen werden, welche die längeren Reaktionszeiten verursachen. Die schwierige Lokalisation aber, welche, wie erwähnt, ebenfalls eine Verlängerung der Reaktionszeiten bei einfacher Reaktion bewirken könnte, bildet den Hauptpunkt der späteren Untersuchungen.

Aus diesen Erwägungen geht hervor, dafs wir im folgenden die bei der einfachen Reaktion wirkenden Faktoren vernachlässigen können, ausgenommen den Fall der Vergleichung der beiden Lagen ↑↑ und ✕. Bei diesen müssen wir die verschieden schwierige Konzentration der Aufmerksamkeit berücksichtigen.

A. Erklärung der für die Fingerbestimmung erhaltenen Resultate der Zeitmessung.

§ 19. Zuerst will ich die Resultate der Zeitmessung zu erklären versuchen, welche ich bei der *Fingerbestimmung* erhalten habe, und zwar will ich mit der Vergleichung der Lagen ↑↑ 1 oben und V 1 oben beginnen.

Wie wir in § 12 sahen, brauchten die Vpn. Prof. Müller, Frau Dr. Rupp und Jacobs bei der Handkreuzung V längere Zeit zur Fingerbestimmung als bei der Parallelstellung ↑↑. Den Grund dafür erkennen wir aus folgenden Beobachtungen über den inneren Vorgang, welche die Vp. Jacobs zu Protokoll gab. Bei der Lage ↑↑ stellte sie, um den berührten Finger zu erkennen, diesen und eventuell noch den einen oder anderen Finger derselben berührten Hand vor; bei der Lage V hingegen kam es vor, dafs neben dem berührten Finger auch der ihm entsprechende Finger der *anderen* Hand vorgestellt wurde. Als z. B. 2 *l* (Zeigefinger der linken Hand) berührt wurde, sah die Vp. *zuerst* den Zeigefinger der rechten Hand in seiner richtigen Lage, nämlich links liegend und mit der Dorsalseite nach aufsen gerichtet, und sprang dann mit der Aufmerksamkeit hinüber auf den wirklich berührten Finger. Ein anderesmal sah sie, als der 3 *l* berührt wurde, *beide* Mittelfinger in ihrer gekreuzten Lage. Ähnlich beobachtete sie wiederholt, dafs ein schwaches, schematisches Bild der *beiden* gekreuzten Hände auftrat, indem die letzteren wie die Schenkel eines Winkels gesehen wurden. Alle diese Beobachtungen wurden jedoch nur bei Berührung der linken Hand gemacht. In 20 Versuchen, bei welchen ich jedesmal fragte, ob die Vp. den entsprechenden Finger der anderen Hand oder diese selbst vorgestellt habe, erhielt ich dreimal eine bejahende Antwort, und in allen drei Fällen war die linke Hand berührt.[1]

[1] Dies dürfte damit zusammenhängen, dafs die rechte Hand *über* der linken lag.

Die Ursachen, aus welchen sich diese Erscheinungen erklären, bewirken zugleich, dafs bei der gekreuzten Lage die Reaktionszeiten länger sind. Ich werde daher zuerst die Erklärung der genannten Erscheinungen zu geben versuchen und dann daraus die Folgerungen für die Reaktionszeiten ziehen. Zunächst wende ich mich zur Erklärung der zuerst besprochenen, wiederholt vorkommenden Täuschung. Wenn ein auf der rechten Seite befindlicher Finger berührt wurde, so wurde im ersten Moment ein Finger auf der linken Seite gesehen. Dafs derselbe speziell als Finger der wirklich dort liegenden rechten Hand vorgestellt wurde, werde ich später berücksichtigen; vorläufig will ich den Fall nur so weit erklären, als ein Finger auf der anderen Seite gesehen wurde. Die Lage, in welcher der im ersten Moment vorgestellte Finger erscheint, ist jene Lage, in welcher der berührte Finger wäre, wenn die Hand nicht schief sondern gerade nach vorne gerichtet wäre. Man wird ohne weiteres zugeben, dafs diese Lage normaler ist als die gekreuzte Lage. Dafs ein Körperteil in normalerer Lage gedacht wird, als in welcher er sich wirklich befindet, steht nicht ohne Analogie da: z. B. wird bei dem Aristotelischen Versuch so lokalisiert, wie wenn die Finger normal liegen würden. Es erhebt sich nun die wichtige Frage: Wieso kann an die Erregungen, welche von der **abnormalen** Lage ausgehen, ein in **normaler** Lage vorgestelltes Bild geknüpft sein? Anzunehmen, dafs die Erregungen, durch welche sich die abnormale Lage von der normalen unterscheidet, bei dieser Reproduktion mitspielen, ist ganz und gar unstatthaft. Wie könnten sich in der Praxis des Lebens die Erregungen der gekreuzten Lage mit der Vorstellung der ungekreuzten Lage assoziiert haben, wenn besondere abnormale Umstände wie z. B. das Tragen gewisser Brillen ausgeschlossen werden? Man wird daher notwendig zu der Annahme gedrängt, dafs die normale Lagevorstellung nicht an die Erregungen geknüpft ist, welche der abnormalen Lage charakteristisch sind, sondern an irgend welche der übrigen Erregungen, welche für die normale und abnormale Lage gleich sind. Dafs aber an diese Erregungen, welche es sozusagen offen lassen, ob die Hand nach vorne oder nach seitwärts gerichtet ist, die normalste Lage assoziiert ist, ist durchaus verständlich. Daraus, dafs die falsche normalere Lagevorstellung nur im ersten Moment auftrat, erkennen wir weiterhin, dafs sie schneller reproduziert wird als die richtige Vorstellung.

Wir erklären somit die angegebene Erscheinung dadurch, dafs wir sagen, dafs bei dem im ersten Momente auftretenden Bild die Erregungen, welche für die abnormale Lage charakteristisch sind, infolge ihrer trägeren Reproduktionstätigkeit noch gar nicht wirksam waren; und dafs sie erst später, als das richtige Bild reproduziert wurde, in Wirksamkeit traten.

Nach dieser Erklärung der beschriebenen Täuschung können wir auch sofort Gründe für die längere Reaktionszeit der gekreuzten Lage angeben. Zunächst erkennt man folgendes: Bei der letztgenannten Lage wird nicht allein das richtige Bild assoziiert, sondern es besteht auch die Tendenz, ein falsches Bild zu reproduzieren, wenn dieselbe auch nicht immer stark genug sein wird, das Bild über die Schwelle des Bewufstseins zu heben. Wenn aber gleichzeitig zwei Reproduktionstendenzen vorhanden sind, so hemmen sie sich gegenseitig. Es mufs also die Reproduktion des richtigen Bildes bei der gekreuzten Lage verzögert werden und demnach die Reaktionszeit bei dieser Lage länger ausfallen als bei der Parallelstellung. Ferner werden die gleichen Erregungen, an welche sich bei der gekreuzten Lage das normale Bild anschliefst, auch bei der normalen Lage dasselbe Bild reproduzieren, nur ist dieses dann zugleich das richtige. Von dieser Reproduktion wissen wir aber aus der Diskussion der obigen Täuschung, dafs sie kürzerere Reproduktionszeiten beansprucht als die Assoziation der richtigen Lagevorstellung an die Erregungen, welche der gekreuzten Lage charakteristisch sind. Da also bei der Parallelstellung das für die Entscheidung mafsgebende Bild schneller reproduziert wird, so mufs auch aus diesem Grunde die Reaktionszeit kürzer sein als bei der Handkreuzung. Es wäre freilich möglich, dafs bei der ersteren Lage zur sicheren Entscheidung auch die Erregungen, welche der Lage charakteristisch sind, herangezogen werden, so dafs das oben angeführte Argument nicht zutreffen würde. In diesem Falle würde aber wahrscheinlich ein anderer Umstand mitspielen, der ebenfalls dahin wirken mufs, die Reaktionszeiten bei der gekreuzten Lage länger ausfallen zu lassen. Da nämlich diese Lage unnormaler ist, so ist die Assoziation des richtigen Bildes an die für die Lage charakteristische Erregung offenbar schwächer als die entsprechende Assoziation bei der Parallelstellung; infolgedessen wird die Reproduktion träger und die Reaktionszeit länger sein müssen. Die eben besprochene Annahme, dafs bei der normalen

Lage die für die besondere Lage charakteristischen Erregungen reproduzierend mitwirken, ist aber keineswegs notwendig. Wenn beim Aristotelischen Versuch dauernd die der abnormalen Lage entsprechenden Erregungen wirkungslos sind, so ist es auch hier bei der normalen Lage als möglich anzuerkennen.

Ein objektiver Nachweis dafür, dafs das bei der normalen Lage auftretende richtige Bild blofs an Erregungen geknüpft ist, welche für diese Lage nicht spezifisch sind, und zwar an dieselben, durch welche das falsche, bei der abnormalen Lage auftretende Bild reproduziert wird, würde es sein, wenn sich nachweisen liefse, dafs die Dauer der Reproduktion des Bildes bei der einen und bei der anderen Lage gleich ist. Denn wenn dasselbe Bild mit derselben Schnelligkeit reproduziert wird, so kann man mit grofser Sicherheit behaupten, dafs auch die reproduzierenden Erregungen dieselben sind. Einen solchen Nachweis konnte ich in einem später zu beschreibenden ähnlichen Falle wirklich führen.[1] Wenn aber auch nur in wenig Fällen nachgewiesen ist, dafs das Bild sich an Erregungen mit Ausschlufs solcher Erregungen, welche der besonderen Lage entsprechen, anschliefst, so ist eine ähnliche Annahme auch in Fällen, wo sich dies nicht direkt nachweisen läfst, gestattet.

Ich habe bis jetzt nur erklärt, wieso im ersten Moment ein Bild auf der linken Seite auftreten konnte, wenn ein rechts liegender Finger berührt war. Die angegebene Erklärung kann aber nicht verständlich machen, dafs dieser links lokalisierte Finger als ein Finger der rechten Hand vorgestellt wird. Sie setzt vielmehr voraus, dafs die von der Peripherie kommende Erregung als eine solche der linken Hand charakterisiert ist, denn sonst könnte nicht ein auf die linke Seite lokalisiertes Bild an sie assoziiert sein. Wenn aber diese Reproduktion gerade deshalb stattfindet, weil die Erregung als eine von der linken Hand kommende irgendwie charakterisiert[2] ist oder — um einen Ausdruck von Michotte in allerdings anderem Sinne zu gebrauchen — ein Regionalzeichen der linken Hand besitzt, so wird es befremdlich erscheinen, warum an dasselbe Regional-

[1] Vgl. § 32 Schlufs.

[2] Zu dieser Charakterisierung genügt es, dafs die von den verschiedenen Körperteilen herkommenden Nerven im Gehirn an verschiedenen Stellen endigen. Auf Grund dieses Unterschiedes allein können schon verschiedene Assoziationen bestehen.

zeichen nicht auch die spezifische Vorstellung der linken Hand geknüpft ist. Dies klärt sich nun auf folgende Weise auf: Es wird sich aus noch zu besprechenden Täuschungen ergeben, dafs mit Erregungen, welche als von einem bestimmten Finger kommend charakterisiert sein, also ein Regionalzeichen dieses bestimmten Fingers haben müssen, auch die spezifische Vorstellung eines anderen Fingers verbunden sein kann. Die letztere ist häufig nicht direkt an das Regionalzeichen des Fingers geknüpft, sondern an räumliche Vorstellungen, welche ihrerseits durch die Regionalzeichen reproduziert werden. Nach dieser Analogie klärt sich das scheinbar Paradoxe unseres Falles in der Weise auf, dafs an das Regionalzeichen der linken Hand zwar die Lagevorstellung eines links liegenden Fingers geknüpft ist, nicht aber auch die spezifische Vorstellung eines Fingers der linken Hand; diese Vorstellung würde sich vielmehr in der Regel auf Grund anderer, wie wir sehen werden, räumlicher Kriterien (Lage auf der rechten oder linken Seite, Fortsetzung der Hand zum Arm, Richtung des Fingers) einstellen. In ähnlicher Weise ist auch die Vorstellung eines Fingers der rechten Hand in unserem Falle nicht an ein Regionalzeichen dieser Hand geknüpft — ein solches konnte gar nicht vorhanden sein, da die linke Hand berührt war — sondern an die Vorstellung eines links liegenden Fingers. Nebenbei bemerkt wird auch diese Reproduktion bei der gekreuzten Lage hemmend wirken, also eine Verlängerung der Reaktionszeiten nach sich ziehen.

Anmerkung: Man könnte fragen, warum bei der Fingerbestimmung überhaupt entschieden wird, auf welcher Seite der Reiz liege; es sei nur nötig zu wissen, dafs der Finger z. B. der zweite von oben sei; das Bild brauchte nicht nach rechts oder links lokalisiert zu sein, es könnte unbestimmt lokalisiert sein. Darauf ist meiner Meinung nach zu antworten, dafs das tatsächlich eingeschlagene Vorgehen der Vp. für die Fingerbestimmung allerdings unzweckmäfsig ist, dafs es aber für den Kampf ums Dasein aufserordentlich wichtig ist zu wissen, ob der Finger rechts oder links liegt. Für das praktische Leben ist das Verhalten sehr ökonomisch; es ist uns infolgdessen so zur Gewohnheit geworden, dafs wir es auch in dem Falle beibehalten, wenn es sich nicht als vorteilhaft erweist.

Ich vermutete, dafs die fälschliche Reproduktion des Fingers der rechten Hand dadurch begünstigt war, dafs durcheinander sowohl die rechte wie die linke Hand berührt wurden. Um dies zu untersuchen, stellte ich Vergleichsversuche an, in welchen ich beide Hände in derselben Lage liefs, hingegen

gruppenweise immer nur eine, vorher bezeichnete Hand berührte (Reihe VIII). War meine Vermutung richtig, so durften jetzt die obigen Täuschungen nicht mehr oder seltener vorkommen, und die Differenz zwischen den beiden Lagen ↑↑ und ⋁ mufste sich verringern oder ganz verschwinden. Die Reihe VIII ergab tatsächlich, dafs erstens die Anzahl der Täuschungen auf eine einzige beschränkt blieb, und dafs ferner die Differenz zwischen den beiden Lagen von 53 σ auf 16 σ herabsank. Um einen minimalen Betrag war also die gekreuzte Lage schwieriger als die ungekreuzte. Daraus ergibt sich, dafs der Grund für die grofse relative Zahl der Täuschungen und für die gröfseren Reaktionszeiten bei der gekreuzten Lage zum grofsen Teil in der hohen Bereitschaft (Perseveration) liegt, in welcher die falsche Lage und das falsche Bild durch Berührung b e i d e r Hände sich befinden. Zum Teil sind aber auch, da doch noch eine Differenz zwischen den beiden Lagen bei gruppenweiser Berührung bestand, die Assoziationen bei der gekreuzten Lage an und für sich schwächer, und es wirken ihnen vermutlich andere Assoziationen entgegen, auch wenn dieselben nicht auf die angegebene Weise gestärkt werden.

Ich habe noch die übrigen am Anfange dieses Paragraphen angeführten Beobachtungen der Vp. JACOBS zu besprechen. Die Beobachtung, dafs öfter ein Bild der analogen Finger b e i d e r Hände oder ein schematisches Bild b e i d e r Hände auftrat, erklärt sich wenigstens teilweise aus dem bisher Gesagten. Jedoch kann ein Grund hierfür auch darin liegen, dafs die Hände bei der gekreuzten Lage leicht als ein G a n z e s aufgefafst werden, dafs ihnen e i n visuelles Bild entspricht, während wir bei der getrennten Lage, z. B. bei der Parallelstellung, stets den Eindruck von z w e i getrennten Komplexen haben und uns leichter ausschliefslich auf die eine Hand konzentrieren können. Wie immer die Erscheinungen sich erklären mögen, jedesfalls werden die überflüssigen Bilder der anderen Hand, die für die Entscheidung allein nötigen Bilder der berührten Hand hemmen (reproduktive Hemmung), somit die Reproduktionszeit bei der gekreuzten Lage vergröfsern.

Die Vpn. aufser JACOBS hatten ähnliche falsche Bilder nie zu Protokoll gegeben. Dennoch glaube ich, dafs für sie die Reaktionszeiten in derselben Weise erklärt werden müssen, da ähnliche Erscheinungen, wie die eben beschriebenen, bei ihnen

in anderen Fällen wiederholt vorkamen. Es ist also anzunehmen, dafs dieselben falschen Reproduktionstendenzen und schwächeren Assoziationen bei der gekreuzten Lage bestanden wie bei Vp. Jacobs, nur dafs die ersteren nicht so stark waren, dafs falsche Bilder klar ins Bewufstsein getreten wären.

Bei der Vp. Baade hängt das Resultat, dafs die Reaktionszeiten bei Lage ↑↑ gleich sind denen der Lage ⋁, wohl damit zusammen, dafs er, wie er oft versicherte, kein visuelles Bild der Hand entwarf, Reiz und Finger auch nicht lokalisierte, sondern nur nach der charakterischen Qualität der Berührungsempfindung den Finger bestimmte. Aus der Gleichheit der Reaktionszeiten geht hervor, dafs die charakteristischen Fingergefühle bei der gekreuzten Lage eben so gut erkannt werden wie bei der ungekreuzten. Zu diesem nicht selbstverständlichem Resultat werden uns später analoge Fälle begegnen.

§ 20. An zweiter Stelle will ich die Resultate besprechen, welche ich für die Fingerkreuzung gegenüber den bei Parallelstellung sich zeigenden erhalten habe. Wie in § 18 gezeigt, müssen bei dieser Lage die Resultate der einfachen Reaktion in Betracht gezogen werden. Die gekreuzte Lage ist nämlich insofern begünstigt, als die Fingerspitzen auf einen kleineren Raum verteilt sind, also die Aufmerksamkeit nicht so grofse Sprünge machen mufs, was bei einfacher Reaktion für die Vpn. Frau Dr. Rupp und Dr. Brunswig die beträchtliche Differenz von ca. 40 σ bewirkte. Demnach sind bei Fingerbestimmung die Reaktionszeiten der Fingerkreuzungslage um mindestens 40 σ gegenüber denen bei der Parallelstellung zu klein, denn bei Fingerbestimmung wird genauer lokalisiert als bei einfacher Reaktion, so dafs der Unterschied der verschieden schwierigen Konzentration der Aufmerksamkeit bei der ersteren eher mehr ausgeprägt sein wird als bei der letzteren. Sicher müssen daher bei der Vp. Dr. Brunswig andere als die bei einfacher Reaktion wirksamen Faktoren zur Erklärung der Reaktionszeiten bei Fingerbestimmung herangezogen werden. Denn bei dieser Vp. sind die Zeiten für die gekreuzte Lage und die für Parallelstellung fast gleich. Auch bei den Vpn. Professor Müller und Jacobs vermag der erwähnte Faktor die Reaktionszeiten nicht zu erklären. Denn wenn er mitwirkt, so ist die auf anderem Wege zu erklärende Differenz der Reaktionszeiten beider Lagen noch gröfser als die aus den Tabellen III und VII sich ergebende

Differenz. Bei Vp. Frau Dr. Rupp läßt sich nicht sicher behaupten, ob neben der verschieden schwierigen Konzentration der Aufmerksamkeit noch irgend welche andere Faktoren Einfluß auf die Reaktionszeiten hatten. Dasselbe gilt von Vp. Baade.

Es ist also nach Gründen zu suchen, warum die drei zuerst genannten Vpn. bei der gekreuzten Lage längere Zeit zur Fingerbestimmung brauchten als bei der einfachen Parallelstellung. Man wird geneigt sein ähnliche Gründe anzuführen, wie wir sie bei der Handkreuzung beobachtet haben: Die gekreuzte Lage ist unnormaler, es wirkt also das Bild der normaleren, ungekreuzten Lage entgegen, und es sind die Reproduktionszeiten für das richtige Bild länger; ferner wird man geltend machen, daß die Hände bei der Fingerkreuzung noch mehr einen einheitlichen Komplex bilden wie bei der Handkreuzung, und daß sich daher in noch stärkerem Grade Partien der nicht berührten Hand aufdrängen und die Reproduktion des richtigen Bildes hemmen werden. Jedoch liegen für diese Annahmen keine Belege vor; nur einmal gab Vp. Prof. Müller bei Berührung des 1 *l* an, daß auch der andere Daumen gesehen wurde. Hingegen kommt bei der Fingerkreuzung ein anderes Moment hinzu, welches wohl imstande ist, die teilweise beträchtlichen Differenzen der Reaktionszeiten zu erklären. Der Finger wird häufig danach bestimmt, ob er z. B. in der Mitte oder in der oberen Hälfte, kurz danach, wie er relativ zur Fingerreihe liegt, und zwar bildet nur die Lage des Fingers relativ zu den Fingern der einen berührten Hand ein sicheres Kriterium; hingegen können wir nicht den Ort eines Fingers in der Reihe der zehn gekreuzten Finger sicher erkennen und ihn von dem Orte der anderen Finger auseinander halten. Obendrein gibt Vp. Prof. Müller an, daß die unteren Finger näher beisammen zu liegen schienen, so daß ein Finger aus seiner Stelle im ganzen Fingerkomplex noch schwerer zu bestimmen war. Da sich aber die Vpn. dennoch dieses schwierigen Kriteriums manchmal bedienten, so liegt hierin ein Hauptgrund für die längeren Reaktionszeiten bei der Fingerkreuzungslage. Daß tatsächlich der Finger manchmal nach seiner Lage im Komplex der 10 Finger beurteilt wurde, zeigen folgende Täuschungen und Selbstbeobachtungen: Vp. Prof. Müller hielt zweimal den 1 *l* für den Zeigefinger und gab an, daß er den Finger nach seiner Lage in dem Raume, welchen die Hände einnahmen, bestimmt habe. Der 2 *l* schien derselben

Vp. zweimal in der Mitte des eben genannten Raumes zu liegen, und sie urteilte erst dann, als sie den Daumen derselben Hand in seinem beträchtlichen Abstand vom Zeigefinger vorgestellt hatte. Bei Berührung des 3 *l* äufserte dieselbe Vp. Prof. Müller einmal, sie müsse den 4 mit vorstellen, denn sie könne sich nicht auf die Gegend im Komplex, in welcher der berührte Finger erscheine, verlassen. Dafs für Vp. Jacobs dieselbe Schwierigkeit bestand, findet dadurch eine Bestätigung, dafs dieselbe viermal bei der Fingerkreuzung neben dem berührten Finger einen anderen Finger vorstellte (in der Regel neben dem 4 den 3), während sie bei der Parallelstellung nur einmal neben dem 3. den 4. im Bilde sah.

Anmerkung 1: Es ist interessant, dafs Vp. Jacobs, als ich sie fragte, welche Lage ihr den Eindruck mache, schwieriger zu sein, mit Entschiedenheit die Parallelstellung angab. Bei der Fingerkreuzung seien die Hände näher beisammen und leichter zu überblicken; ferner würden bei dieser Lage die Finger durch die kreuzenden Finger der anderen Hand in fester Lage gehalten und seien darum leichter voneinander im Bilde zu trennen als bei sich nicht berührenden Händen. Vergleicht man mit diesen Angaben die wirklichen Resultate, so sieht man, dafs die Vp. etwas ganz anderes beurteilte als die Schnelligkeit, mit welcher die Assoziationen wirkten; sie richtete sich nach der Bequemlichkeit für die Aufmerksamkeit oder danach, ob in einem simultanen Bild der ganzen Lage die Finger scharf gesondert sind. Es würde uns also zu ganz verkehrten Resultaten führen, wenn wir durch die Selbstbeobachtung die Lokalisationszeiten der einzelnen Lagen vergleichen liefsen.

Anmerkung 2: An einem Versuchstage, dessen Resultate in der Tabelle nicht einbezogen sind, ergab Vp. Prof. Müller für die Lagen ↑↑, ⩔ und ⤧ nicht wesentlich verschiedene Resultate (vgl. Tab. III Anmerkung). Er gab an, dafs er stark ermüdet sei; ferner war auffallend, dafs neben dem berührten Finger nie ein anderer Finger vorgestellt wurde. Es scheint also, dafs sich infolge der Ermüdung das Verfahren geändert hat, dafs die Vp. nicht wie sonst nach der räumlichen Lage geurteilt hatte, sondern vermutlich nach einem spezifischen visuellen Bild oder nach einem spezifischen Fingergefühl. Ich habe den Einflufs der Ermüdung auf das Urteilsverfahren nicht weiter verfolgt.

§ 21. Sehr deutlich hat sich aus den Reihen VI, IX, XI, XII das Gesetz ergeben, dafs die Fingerbestimmung in den Lagen, in welchen der kleine Finger oben liegt, schwieriger ist als in den Lagen, welche sich von ihnen nur dadurch unterscheiden, dafs der Daumen oben liegt. Aus einer charakteristischen Täuschung läfst sich dieses Gesetz leicht erklären.

Die Vp. Dittmers gab bei der Lage → 5 oben einmal an,

dafs sie den berührten Zeigefinger sofort zwar an seiner richtigen Stelle in der Fingerreihe, nämlich als zweiten Finger von unten gerechnet, gesehen habe, der Finger sei aber mit der Vorlarseite dem Gesicht zugekehrt gewesen; er wurde für den Ringfinger gehalten und dementsprechend falsch reagiert. Das spezifische Bild und das Urteil bezogen sich also auf denjenigen Finger, welcher in der Lage 1 oben die betreffende Stelle einnimmt.

Ähnliche Täuschungen, wie die eben genannte, beobachtete Vp. Jacobs bei der Lage ↑ 5 oben. Als der kleine Finger berührt wurde, kam ihm der Gedanke, dafs der berührte und schon als oben liegend erkannte Finger der Daumen sei. Bei Berührung des Ringfingers tauchte zuerst das Bild des Zeigefingers auf, und zwar an derselben Stelle, an welcher später der Ringfinger vorgestellt wurde. Der Zeigefinger schien dabei mit der Rückenseite nach links zu liegen (es war die linke Hand berührt). In beiden Fällen ist, wie oben, zuerst die Richtung des Fingers und seine Lage relativ zu den anderen Fingern richtig erkannt; dieselbe reproduzierte aber das Bild des Fingers, welcher bei oben liegendem Daumen und sonst gleicher Lage der Hand an der betreffenden Stelle liegt.

Ich erkläre zunächst wieder die angegebenen, für die Lagen mit oben liegendem kleinen Finger charakteristischen Täuschungen; die Erklärung der längeren Reaktionszeiten bei diesen Lagen gegenüber den Lagen mit oben liegendem Daumen ergibt sich dann ohne weiteres.

Bei der Täuschung wurde stets die Lage des Fingers in der Vertikalreihe der Finger, z. B. 2. von unten, richtig erkannt. Dazu ist nötig, dafs gewisse Erregungen oder zentrale Reproduktionsdispositionen reproduzierend wirken, welche erstens für die abnormale Lage und zweitens für den besonderen Finger charakteristisch sind. Denn wären sie nicht für die Lage 5 oben charakteristisch, so könnte in unserem Beispiele der Finger ebensogut als 2. von rechts oder als 2. von oben vorgestellt werden; und wären sie nicht für den Finger charakteristisch, so könnte dieser ebensogut als 3. oder als letzter vorgestellt werden. Es war aber in allen Fällen die Lage des Fingers relativ zu den anderen Fingern richtig erkannt. Die Täuschung erklärt sich nun so, dafs zuerst die Lagevorstellung: 2. von unten durch die genannten Erregungen und Dispositionen reproduziert wird, und dafs sich an diese Lagevorstellung das falsche Bild an-

schliefst.[1] Denn es ist leicht begreiflich, dafs sich an die Lagevorstellung das Bild desjenigen Fingers anschliefst, welcher gewöhnlich die betreffende Lage einnimmt. Hingegen könnte sich dieses Bild nicht an die zuerst wirksamen Erregungen und Dispositionen anschliefsen, da diese, wie betont, für die Lage 5 oben und für den Zeigefinger charakteristisch sein müssen, während sich das falsche Bild auf die Lage 1 oben und auf den Ringfinger bezieht.

Wie die früher erwähnten Täuschungen, so tritt auch diese nur im ersten Momente auf; daraus ergibt sich wieder, dafs die richtigen Assoziationen langsamer wirken, längere Reproduktionszeiten besitzen als die zur Täuschung führenden. Auf Grund welcher Erregungen oder Vorstellungen die Korrektion des falschen Bildes eintritt, läfst sich nicht entscheiden; es kann durch die eben besprochenen Regionalzeichen geschehen, indem sie das richtige Bild langsamer reproduzieren, es können aber auch neue Erregungen oder zentrale Dispositionen dazu nötig sein.

Nach dieser Diskussion der beschriebenen Täuschung lassen sich folgende Gründe für die längeren Reaktionszeiten der Lage 5 oben angeben: Erstens bestehen bei dieser Lage neben den richtigen auch falsche Reproduktionstendenzen, welche natürlich die Reproduktion des richtigen Bildes hemmen. Ferner konnten wir aus dem Verlauf der Täuschungen entnehmen, dafs das falsche Bild schneller reproduziert wird, als das richtige. Da nun bei der Lage 1 oben die analoge Reproduktion des normalen Bildes schon zum richtigen Bilde führt, so ist hier die Reproduktion des zur Entscheidung nötigen Bildes nicht nur nicht gehemmt, sondern sie vollzieht sich auch an und für sich schneller als bei der Lage 5 oben.

Diese Ursachen können auch dann wirksam gewesen sein, wenn keine Täuschung vorhanden war. Dies ist wichtig, denn bei einigen Vpn. kam es in gewissen Lagen zu keinen Täuschungen z. B. bei den Vpn. Prof. MÜLLER und FRÖBES in der Lage ∀ 5 oben. Hingegen kamen bei der letzteren Vpn. eine Reihe von ähnlichen Täuschungen in der Lage ɣ hor. vor, in welcher ebenfalls der kleine Finger oben liegt. Es wurde z. B. der 4 *l* für den Zeigefinger gehalten und die Täuschung von der Vp.

[1] Es wäre freilich auch möglich, dafs sich hier mit der Zeit eine verkürzte Assoziation mit Ausschaltung der Lagevorstellung bildet.

selbst dadurch motiviert, dafs der Finger als zweiter von oben vorgestellt war. Ebenso wurde der kleine Finger einmal für den Daumen gehalten; gleich darauf hatte die Vp. gefühlt, dafs der Daumen unten lag. Ein anderesmal mufste sie bei Berührung des 5 *l* länger nachdenken, um zu finden, welcher Finger es sei, der oben liege; ebenso verzögerte sich das Urteil bei Berührung des 4 *l*, da sich Vp. nicht bereit gehalten habe, welcher Finger oben liege. Wir begegnen also bei dieser Lage denselben charakteristischen Täuschungen, wie bei den übrigen Lagen mit oben liegendem kleinen Finger. Dies gilt aber nur von Vp. FRÖBES; Vp. Prof. MÜLLER gab auch bei dieser Lage nie an, dafs sie eine Tendenz zu ähnlichen Täuschungen gehabt hätte. Dennoch glaubte ich, dafs in allen Fällen, in welchen keine Täuschungen beobachtet wurden, die längeren Reaktionszeiten bei 5 oben auf die angegebene Weise erklärt werden müfsten. Bei Vp. Dr. KATZ kommen, im Unterschied von allen bisher erwähnten Vpn., auch bei der Lage 1 oben Verwechslungen des Zeige- und Ringfingers vor. (Daher sind die Reaktionszeiten für diese Finger sehr lang.) Hier machen sich also auch bei der normalen Lage falsche Reproduktionstendenzen geltend, jedoch, da die Reaktionszeiten kürzer sind als bei der Lage 5 oben, offenbar in geringerem Grade als bei dieser letzteren Lage.

§ 22. Die Erklärung für die längeren Reaktionszeiten bei oben liegendem kleinen Finger, wie ich sie eben gegeben habe, setzt voraus, dafs der kleine Finger wirklich als oben liegend vorgestellt werde. Aus den angegebenen Beobachtungen geht hervor, dafs dies tatsächlich der Fall war. Beobachtungen der Vp. JACOBS zeigen jedoch, dafs auch andere Fälle vorkommen. Die Vp. gibt nämlich bei der Lage ↑ 5 oben, bei welcher sie die Hände so zu halten hatte, dafs ihr weder die Volar- noch die Dorsalseite zugekehrt schien, an, dafs sie die Hilfsfinger, welche sie neben dem berührten Finger zum Zwecke der Erkennung des letzteren vorgestellt hatte, nicht unter oder über dem berührten Finger sah, sondern n e b e n ihm, wie wenn die Hand ein wenig gegen die Pronationslage zu gedreht sei. Ferner schien bei Berührung der Dorsalseite des Fingers dieser, auch wenn er nur ganz allein gesehen wurde, ein wenig gedreht, so dafs die Dorsalseite etwas dem Gesicht zugekehrt war. Immer aber sah die Vp. von sich aus auf die Hand hin. Von der rechten oder linken Seite aus schief auf die berührte Volar- oder Dorsalseite

zu sehen, gelang ihr nicht. Eher wurde, wie gesagt, die Hand oder der einzelne Finger gedreht gedacht. Auch Vp. Dr. Katz gab mir bei Versuchen, die ich später, um Selbstbeobachtungen zu erhalten, ohne Zeitmessung angestellt hatte, mehrmals an, dafs er die Tendenz habe, die Hand in Pronationslage vorzustellen. Ebenso wurde die zweite Beobachtung von Vp. Jacobs, dafs der berührte Finger etwas gedreht erscheine, von Vp. Prof. Müller in Versuchen bei der Lage ↑ 5 oben bestätigt.

Unter diesen Umständen werden natürlich die Täuschungen, wie wir sie früher gefunden haben, nicht auftreten. Es fragt sich nun, wie verhalten sich in diesem Falle die Reaktionszeiten zu denen bei der Lage 1 oben? und sind die Reaktionszeiten unter diesen Umständen gleich den Reaktionszeiten, welche bei der Pronationslage erhalten werden? Um diese Fragen zu entscheiden, müfsten Vpn. zur Verfügung stehen, welche die Hand stets so sehen, wie ich es eben angegeben habe. Bei meinen Vpn. war dieser Fall sicher nicht realisiert, was aus den oben angeführten Täuschungen hervorgeht.

§ 23. Bei den Lagen → 1 oben und 5 oben, welche ich in der Reihe XI mit Vp. Dittmers verwendet habe, ist die berührte Dorsalseite einmal zu- einmal abgekehrt. Es wäre möglich, dafs die Lage, in welcher die berührte Seite dem Gesicht abgekehrt ist, gröfsere Schwierigkeiten bereitet. Aus diesem Umstand würde sich jedoch die Differenz, welche wir zwischen den beiden Lagen erhalten haben, nicht erklären; denn es müfsten sich in diesem Falle für die Lage mit oben liegendem kleinen Finger kürzere Reaktionszeiten ergeben haben. Es könnte also nur sein, dafs die Differenz zwischen den beiden Lagen aus dem angegebenen Grunde zu klein ausgefallen sei.

§ 24. Wie sich von den Lagen 1 oben und 5 oben die letzte als die normalere erwiesen hat, so könnten sich auch bei anderen Lagen, die sich durch Drehung der Hände um 180° unterscheiden, ähnliche Resultate ergeben, z. B. bei der Vergleichung der Pronations- und Supinationslage. In der Pronationslage, welche sich wahrscheinlich als die normalere herausstellen würde, ist die berührte Seite dem Gesicht zugekehrt. Man mufs also nachweisen, dafs die Begünstigung dieser Lage sich nicht aus diesem Umstande erklärt. Das ist leicht zu erreichen, wenn man auch die Volarseiten berührt. Versuche über diese beiden Lagen habe ich noch nicht angestellt. Für die Lagen mit nach

oben stehendem Unterarm und Fingern erheben sich ebenfalls die Fragen, ob die Lage mit zugekehrtem kleinen Finger und die mit zugekehrtem Daumen gleich feste Assoziationen besitzen, und ob die Lage mit zugekehrter Volar- und die mit zugekehrter Dorsalseite gleich geläufig sind. Auch hierüber habe ich keine Untersuchungen mit Zeitmessung angestellt. Für die beiden ersten Lagen ergibt sich jedoch aus Täuschungen die bei der MÜLLERschen Lage ℵ vert. vorkamen, dafs die Lage mit zugekehrtem Daumen normaler ist als die mit zugekehrtem kleinen Finger. Es wurde nämlich von der Vp. Prof. MÜLLER zweimal der Zeigefinger für den kleinen gehalten. Der Finger war jedesmal richtig lokalisiert, nämlich an das abgekehrte Ende des ganzen Händekomplexes; der Daumen wurde überhaupt nicht vorgestellt. An diese Lagevorstellung war also das Bild desjenigen Fingers assoziiert, welcher bei der Lage mit zugekehrtem Daumen, die man sofort als die normalere erkennt, an der betreffenden Stelle liegt. Wird nämlich von dem Daumen abgesehen, so liegt in der MÜLLERschen Stellung der Zeigefinger an dem dem Gesicht abgekehrten Ende der Hand. In derselben Weise erklärt sich die Täuschung derselben Vp., dafs der 4 *l* zuerst für den Zeigefinger gehalten, dabei aber richtig als zweiter vom Körper aus vorgestellt wurde. Daran, dafs der berührte Finger neben dem kleinen Finger lag, erkannte die Vp. später den Fehler. Eine Täuschung in umgekehrtem Sinne beobachtete ich an mir selbst. Es war der Zeigefinger der rechten Hand berührt; ich hatte ihn sofort erkannt, ihn jedoch an der mir zugekehrten Seite des Handkomplexes gesehen. Es kam also zuerst die Vorstellung des Zeigefingers, vielleicht infolge eines spezifischen Fingergefühles, und an sie schlofs sich die Vorstellung derjenigen Lage des Fingers, welche der normaleren Stellung der Hand entspricht. Aus diesen beiden Täuschungen erkennen wir, wie in früheren Fällen, dafs die Lage mit zugekehrtem Daumen schneller wirkende Assoziationen besitzt als die Lage mit zugekehrtem kleinen Finger. Gleichzeitig können wir für die erwähnte MÜLLERsche Stellung den Schlufs ziehen, dafs die Fingerbestimmung sowohl wegen Hemmungen wie auch wegen der an und für sich längeren Reproduktionszeiten längere Dauer beanspruchen mufs.

§ 25. Auch bei seitlich gerichtetem Unterarm und Fingern lassen sich dieselben Fragen aufwerfen, nämlich ob die der Pronations- oder die der Supinationslage entsprechende Lage die

normalere ist, und ob andererseits für die Lage mit oben liegendem Daumen oder für die mit oben liegendem kleinen Finger bessere Assoziationen vorhanden sind. Bei allen diesen Fragen ist vorausgesetzt, dafs die Finger in ihrer wirklichen Lage vorgestellt werden, und dafs nicht ähnliche falsche Bilder benützt werden, wie ich früher einige beschrieben habe.

§ 26. Es bleiben noch die beiden Handfingerkreuzungslagen zu besprechen. Dafs die Fingerbestimmung bei beiden Lagen darum schwieriger ist, weil die kleinen Finger in einem Fall oben liegen, im anderen dem Gesicht zugekehrt sind, habe ich schon erwähnt. Dazu kommen aber andere Umstände, welche Finger- und Handbestimmung bei diesen Lagen oft sehr erschweren, dafs nämlich sowohl die Lage des berührten Fingers selbst, wie auch die der benachbarten Finger sehr schwer zu erkennen ist und manchmal trotz aller Anstrengungen nicht erkannt wird. Ich führe im folgenden Selbstbeobachtungen verschiedener Vpn. an, welche ein Bild der hier bestehenden Schwierigkeiten geben. Diese Beobachtungen sind, soweit sie nicht bei den Versuchsreihen I und II gemacht wurden, bei Versuchen angestellt, die ich, ohne die Reaktionszeiten zu messen, ausgeführt habe nur zum Zwecke, Näheres über den inneren Vorgang hierbei zu erfahren.

Die Vpn. Fröbes, Dr. Conrad und Küchler gaben mehrmals an, dafs sie den Reiz nicht sofort lokalisieren konnten, sondern ihn eine Zeit lang spürten, bevor er an eine bestimmte Stelle des Raumes verlegt war. Ich habe auch an mir dieselbe Beobachtung gemacht. Schon die Lokalisation der berührten Stelle allein macht also bei diesen Lagen bisweilen Schwierigkeiten, während sie bei anderen Lagen fast ausnahmslos gleichzeitig mit der Empfindung ins Bewufstsein kommt. Von dieser Lokalisation ist die Lokalisation der Berührungsstelle relativ zu dem äufserst unklar vorgestellten Handkomplex zu unterscheiden. Gewöhnlich werden beide Lokalisationen gleichzeitig reproduziert. Bei diesen schwierigen Lagen tritt aber die letztere Lokalisation manchmal merklich später auf. Z. B. gab Vp. Fröbes bei horizontaler Fingerkreuzung wiederholt an, dafs er, als er die Berührung verspürte, von ihr zunächst noch gar nichts wufste, dafs er sie dann an einer bestimmten Stelle des Raumes sah und sie erst danach als unten liegend erkannte. Ebenso beobachtete ich selbst mehrmals bei der vertikalen Lage zuerst ein

kleines Bild der berührten Stelle, um welches sich im nächsten Moment das ganz schwache Bild des Komplexes gruppierte, so daſs ich nun auch wuſste, welche Lage das Bild innerhalb des Raumes hatte, den die Hände einnahmen. Vp. Prof. Müller sagte bei Berührung des 3 *l* aus, daſs er sofort ein kleines Bild der berührten Stelle sah, aber erst später erkannte, daſs es auf der rechten Seite lag (es war dies eine Täuschung die ich später beschreiben werde). Ebenso beobachtete Vp. Küchler bei Berührung von 2 *r*, daſs er das kleine visuelle Bild der Berührungsstelle zuerst nicht im Handkomplex lokalisieren konnte. Auch diese Fälle kann ich durch meine eigene Erfahrung bestätigen.

Diesen Beobachtungen stehen aber sehr viele Fälle entgegen, in welchen die Lage der Berührungsstelle im Raume und im Handkomplex sehr schnell erkannt wurde, so daſs es verfehlt wäre, in solchen Schwierigkeiten den Hauptgrund für die längere Dauer der Fingererkennung bei der Handfingerkreuzung zu suchen. Für diese Lagen ist es vielmehr charakteristisch, daſs das Stadium der Lokalisation der berührten Stelle im Raume und in dem roh vorgestellten Handkomplex und das der genauen Lokalisation des ganzen Fingers und seiner Umgebung deutlich getrennt sind, daſs die erste Lokalisation sich schnell, die letztere aber oft sehr langsam vollzieht. Da jedoch ähnlich wie bei früheren Lagen die Kenntnis der Lage des Fingers und seiner Umgebung zur Fingerbestimmung meistens nötig ist, so muſs sich letztere aus diesem Grunde sehr verzögern.

Zur genauen Lokalisation des Fingers und seiner Umgebung nützt die erwähnte unklare Vorstellung des Händekomplexes sehr wenig. Denn dieser Händekomplex besteht für den Beobachter meistens aus einem ganz unanalysierten Durcheinander von einzelnen Fingern und anderen Partien der Hände; er weiſs nicht, welche Finger zu derselben Hand gehören, was für Finger er in seinem unklaren Bilde sieht. Es braucht manchmal lange Zeit (bis 10 Sekunden und darüber), ehe in dieses Wirrwarr Klarheit kommt. Während dieser Zeit wartet die Vp. bald passiv auf klare Bilder, bald sucht sie nach Anhaltspunkten im Handkomplex. Ich führe hierfür einige Selbstbeobachtungen an. Vp. Baade gab bei der vertikalen Lage bei Berührung des 3 *l* an: Die berührte Spitze wurde an einer bestimmten Stelle sogleich gesehen; auſserdem war ein Durcheinander von Fingern da,

und er versuchte, durch Empfindungen an den Gelenken die Krümmung des berührten Fingers vorzustellen. Bei Berührung des 2 *r* gab dieselbe Vp. an: Er wufste, dafs der berührte Finger auf der ihm abgekehrten Seite des Komplexes lag, er konnte aber den Finger nicht bis über die Kreuzung hinaus verfolgen. Vp. Küchler beobachtete zuerst ein kleines Bild, das zu dem Durcheinander von Fingern, wie er den Händekomplex sah, nicht in Beziehung gebracht werden konnte; erst nach einiger Zeit tauchte das klare Bild des Fingers in bestimmter Richtung auf. Eine ähnliche Beobachtung machte Vp. Fröbes bei Berührung des 3 *l*: Anfangs war ihm klar, dafs irgend ein mittlerer Finger berührt sei; erst mit der Zeit tauchte der Finger mit ziemlicher Klarheit auf. Dieselbe Vp. suchte ein anderes Mal über die Lage der Hand sich dadurch Klarheit zu verschaffen, dafs er sich nach dem Schema der Lage, welches er kannte, und welches ungefähr so aussah, wie das schematische Bild, das ich zur Bezeichnung gebrauche (Ɣ), die Fortsetzung der Hand von der bereits lokalisierten Stelle aus suggerierte und prüfte, ob widerstreitende Empfindungen auftreten. Daraufhin hat sich bald die wirkliche Fortsetzung der Hand aus dem Komplex herausgehoben.

Ich habe früher erwähnt, dafs es zur Fingerbestimmung nötig ist, neben dem berührten Finger, andere Finger derselben Hand vorzustellen. Das gilt, wie auch bei anderen Lagen, hauptsächlich von den mittleren Fingern. Ich führe einige Selbstbeobachtungen hierfür an: Vp. Prof. Müller gab bei horizontaler Lage und Berührung des 4 *l* an, das Bild des isolierten Fingers genüge nicht, es sei nötig auch den 5 *l* mitvorzustellen. Bei der vertikalen Handfingerkreuzung mufste sie, um den berührten Ringfinger der rechten Hand, und ein anderes Mal, um den Mittelfinger derselben Hand zu bestimmen, die dem ulnaren Rand zu gelegenen Finger derselben Hand abzählen. Sie suchte dieselben an den Berührungsempfindungen, welche infolge der Fingerkreuzung vorhanden waren, zu fühlen. Auch Vp. Fröbes mufste die Finger häufig in ähnlicher Weise bestimmen, nur stellte er die einzelnen Finger nicht klar vor, sondern schätzte aus der Masse der gegen den Rand zu liegenden Finger beider Hände, der wievielte Finger der berührte sein könnte. Es kam bei diesem ungenaueren Verfahren daher manchmal zu Täuschungen, z. B. wurde bei der vertikalen Handfingerkreuzung

der 1 *l* für den Zeigefinger gehalten, weil noch „allerhand“ darüber lag.[1]

Die eben angegebenen Arten, den Finger zu bestimmen, sind nicht die einzigen, die bei diesen Lagen (wie auch bei früher beschriebenen) angewendet wurden; neben der räumlichen Lage des Fingers kann auch ein spezifisches Gefühl für seine Erkennung ausschlaggebend sein. Ich erwähne dieses Kriterium erst bei Besprechung der Handfingerkreuzungslagen, weil man es hier am sichersten beobachten kann, nämlich in jenen Fällen, wo die räumliche Lage überhaupt nicht erkannt wird.[2] Ich führe einige Selbstbeobachtungen über dieses Kriterium an: Vp. Prof. Müller hatte bei der Lage ɣ horizontal und bei Berührung des 4 *l* sogleich die spezifische Empfindung des Ringfingers; auch im visuellen Bild des einzelnen Fingers lag schon, dafs es nicht der 1., 2. oder 5. sein konnte. Zur sicheren Entscheidung wurde aber schliefslich der kleine Finger mitvorgestellt. Bei der vertikalen Lage und bei Berührung des 2 *l* konnte die Vp. durch die visuelle Verfolgung des Fingers nicht zur Klarheit kommen, daher hatte sie sich schliefslich auf das Gefühl gestützt. Besonders bei Berührung des 5 gab dieselbe Vp. wiederholt an, dafs für die Erkennung das Gefühl eine wichtige Rolle spiele. Ähnlich beobachtete Frau Dr. Rupp bei Berührung des Zeigefingers, des Daumens und des kleinen Fingers einige Male deutlich, dafs sie den Finger nach seinem Gefühl erkannt habe, bevor sie noch seine Lage wufste. Ähnliche Beobachtungen machten die Vpn. Baade und Berlage, welche überhaupt wenig visuelle, sondern vorwiegend taktile Vorstellungen hatten. Die erste Vp. gab bei der Lage ɣ vert. bei Berührung des 5 *l* an, dafs sie den Finger nur nach dem Gefühl erkannt habe, dafs sie nicht wufste, ob der Finger auf dem zu oder abgekehrten Ende des Handkomplexes lag; Vp. Berlage beobachtete deutlich, dafs sie bei derselben Handstellung den berührten Finger stets früher erkenne, als sie

[1] Dieselbe Verwechslung des 1 mit dem 2 beobachtete Vp. Prof. Müller bei der Lage ✕. Vgl. § 20.

[2] Auch Henri spricht nach den Aussagen seiner Vpn. von einem spezifischen Fingergefühl. — Ob dasselbe bei einfachen Lagen häufiger benutzt wird als bei schwierigen oder umgekehrt, habe ich nicht untersucht. Es wurde in einzelnen Fällen bei allen Lagen beobachtet. Diese gelegentlichen Beobachtungen gestatten aber keinen Schlufs auf die relative Häufigkeit der Fälle, in welchen es angewendet wurde.

seine Lage wisse. Daraus geht hervor, dafs es ein Kriterium für die Fingerbestimmung geben mufs, welches, was immer es sonst auch sei, unabhängig davon ist, dafs der Finger an bestimmter Stelle vorgestellt wird, dafs erkannt wird, der wievielte Finger z. B. vom kleinen her oder von oben gerechnet der berührte Finger ist. Daraus, dafs die Vp. BERLAGE die Finger sehr schnell erkennen konnte, wie auch aus dem Umstande, dafs die Reaktionszeiten der Randfinger, welche nach den eben angeführten Selbstbeobachtungen häufig nach dem spezifischen Fingergefühl bestimmt wurden, in der Regel bedeutend kürzer waren als die der mittleren Finger, geht hervor, dafs das spezifische Fingergefühl überhaupt sehr schnell erkannt wird, und dafs es auch bei abnormalen Lagen schnell auftritt. Letzteres stimmt mit dem für die Vp. BAADE bei der Lage ⤧ erhaltenen Resultate überein (vgl. § 20); dort hatten wir aus der Gleichheit der Reaktionszeiten dieser Lage ⤧ mit den Reaktionszeiten der normalen Lage ↑↑ geschlossen, dafs das spezifische Fingergefühl bei der abnormalen Lage ebensoschnell reproduziert wird wie bei der normalen.

Wenn man von den Beobachtungen über das spezifische Fingergefühl absieht, so zeigen sämtliche im Vorstehenden angeführten Angaben der Vpn., dafs die Fingerbestimmung bei der Handfingerkreuzung oft grofse Schwierigkeiten bereitet. Für dieselben lassen sich nun, wie ich glaube, 4 Ursachen angeben, welche aber voneinander nicht unabhängig sind. Die wichtigste Ursache besteht wohl darin, dafs uns die Handfingerkreuzungslagen sehr wenig geläufig sind. Wir haben schon aus Täuschungen erkannt, dafs die Assoziationen für die Lagen mit oben liegendem und für die mit zugekehrtem kleinen Finger langsamer wirken als die mit oben liegendem resp. zugekehrtem Daumen. Wir werden im folgenden eine andere, sehr häufig vorkommende Täuschung besprechen, aus welcher sich weiterhin schliefsen läfst, dafs das visuelle Bild und die richtige Vorstellung der räumlichen Lage bei diesen unnormalen Lagen auch deshalb schwächer reproduziert wird als bei normalen Lagen, weil die Hände in ungewöhnlichem Grade gebogen und gedreht sind.

Eine zweite Ursache für die Schwierigkeiten bei den Handfingerkreuzungslagen besteht in dem Vorhandensein von hemmenden falschen Assoziationen. In der schon früher besprochenen ersten Art von Täuschungen haben wir Beispiele für

solche Hemmungen gefunden. Zu diesen werden wir noch viele Beispiele hinzufügen können, welche mit der zuletzt angedeuteten zweiten Art von Täuschungen zusammenhängen.

Eine dritte Ursache besteht darin, dafs richtige und falsche Reproduktionen nebeneinander gleichzeitig auftreten, indem sich für denselben Finger zwei Bilder zeigen, oder indem der eine Finger richtig, der andere falsch vorgestellt wird; dadurch mufs natürlich eine Verwirrung entstehen, welche die Erkennung der Zusammengehörigkeit der Finger und das Verfolgen des Fingers zur Hand usw. sehr erschwert. Auch hierfür werde ich später einige Beispiele angeben.

Als 4. Ursache der Schwierigkeiten möchte ich endlich anführen, dafs die Isolierung der berührten Hand sehr erschwert ist, dafs beide Hände einen viel einheitlicheren Komplex bilden, als es bei den bisherigen Lagen der Fall war. Zur Finger- und Handbestimmung, sofern sie sich auf Grund der räumlichen Lage vollziehen, ist aber nur das Bild e i n e r Hand nötig. Es mufs daher eine Störung sein, wenn Vorstellungen der andern Hand sich aufdrängen. Dafs aber wirklich auch Parteien der anderen Hand vorgestellt werden, ergibt sich aus einer Reihe von Beobachtungen. Wie schon früher einmal erwähnt, hielt die Vp. Fröbes den 1 *l* für einen Zeigefinger, weil sie den Eindruck hatte, dafs noch mehr Finger darüber lagen; ähnlich zweifelte sie bei Berührung des 2 *r*, dafs der berührte Finger der Zeigefinger sei, weil zu viele Finger hinter ihm lagen. Aus diesen Beobachtungen ersieht man deutlich, dafs nicht blofs die Finger e i n e r Hand vorgestellt worden sind. Ferner fühlte die Vp. die von dem berührten Finger aus gegen den Rand zu liegenden Finger beider Hände als eine gröfsere oder kleinere Masse, sie wufste nicht, wie viele und welche Finger es waren, sie konnte nur abschätzen, der wievielte Finger, vom Rand her gerechnet, der berührte Finger sein dürfte. Würden nur die Finger e i n e r Hand vorgestellt, so würde die Vp. offenbar genau wissen, wieviele Finger gegen den Rand zu liegen. Aufserdem gaben alle Vp. wiederholt an, dafs sie beim Verfolgen des Fingers und der Hand bald hier bald dort Bruchstücke von Fingern oder einer Hand sahen oder spürten, von welchen sie nicht wufsten, ob sie zur berührten Hand gehörten oder nicht; sicher wurden dabei auch Teile der nicht berührten Hand gesehen. Fast immer ist dies der Fall, wenn Partien vorgestellt werden, die bei der Kreuzung liegen. Die

Fingerkreuzungsstellen werden dann häufig als eine von Knöcheln oder Fingerspitzen gebildete Rinne oder Furche gesehen. Daraus, dafs sich an den Kreuzungsstellen das Bild der anderen Hand aufdrängt, erklärt sich auch die wiederholt beobachtete Tatsache, dafs die Verfolgung des Fingers über die Kreuzung hinaus sehr schwierig ist und in manchen Fällen überhaupt nicht gelingt. Darauf komme ich bei der Handbestimmung noch zu sprechen.

Diese Beispiele zeigen, dafs die Isolierung der berührten Hand sehr schwierig ist, dafs sich häufig Partien der anderen Hand aufdrängen. Damit stimmt es auch überein, dafs man den Handkomplex, wenn die Aufmerksamkeit auf ihn gerichtet ist, meistens als e i n e n Komplex vorstellt, und dafs die Trennung in die beiden den einzelnen Händen entsprechenden Teile oft nur mit gröfster Mühe gelingt. Solche einheitliche Vorstellungen haben die Vpn. u. a. dann, wenn sie die relative Lage der berührten Stelle im Komplex vorstellen und den Komplex noch gar nicht näher analysiert haben (vgl. die früheren Bemerkungen über die Lokalisation der Berührungsstelle). Vp. Prof. Müller spricht z. B. von einer düsteren Masse, Dr. Conrad von einer dunklen, wie mit einem Wischer gezeichneten Masse ohne scharfe Konturen. Die Vpn. Fröbes und Küchler sprechen von einer Gefühlsmasse. Dieses visuelle und taktile Bild hat eine bestimmte Ausdehnung, jedoch mit sehr ungenauen Grenzen, es kann die Mitte, oder wie die beiden letzten Vpn. sagten, der Schwerpunkt in der Masse ungefähr angegeben werden. Allein von einer Trennung der Masse in Teile, die den beiden Händen entsprechen, ist keine Rede. Die Gründe für diese einheitliche Umfassung beider Hände und der schwierigen Isolierung derselben werden etwa folgende sein: Bei dem Verfolgen des Fingers und der Hand werden sich Vorstellungen jener Teile aufdrängen, welche dem Ort, auf welchen die Aufmerksamkeit gerichtet ist, n a h e liegen, also auch der Teile der nicht berührten Hand. Ein Grund liegt also in der räumlichen Nähe der Teile der anderen Hand. Ferner dürften hauptsächlich an den Kreuzungsstellen die Finger der anderen Hand dadurch assoziiert sein, dafs für beide sich kreuzenden Hände ein e i n h e i t l i c h e s v i s u e l l e s Bild besteht. Es ist auch möglich, dafs an allen Stellen, wo sich die Hände berühren, durch die dabei entstehenden Empfindungen die Aufmerksamkeit auf die andere Hand hinüber gelenkt wird, ähnlich

wie die Berührungsempfindungen, welche bei dem Betasten eines Körpers entstehen, auf diesen selbst hinweisen.

§ 27. Um die Besprechung der Fingerbestimmung bei den Handfingerkreuzungslagen zu Ende zu führen, ist es nötig, vorher die schon früher angedeutete zweite Art von Täuschungen zu betrachten, welche bei der Handfingerkreuzungslage auftreten. Gibt man die Hand in eine der beiden Lagen und läfst von einer zweiten Person eine Fingerspitze berühren oder bewegt die Hand selbst langsam gegen einen Körper mit unregelmäfsiger Oberfläche, etwa gegen die Blätter eines Blumenstockes, bis irgend ein Finger berührt wird, so wird man, sofern man nicht grofse Übung in der Analyse dieser Stellung besitzt, die Berührung unrichtig lokalisieren: man spürt die Berührung auf der linken Seite, wenn sie wirklich von einem rechts liegenden Finger herrührt, und umgekehrt. Die Täuschung ist oft sehr deutlich, man ist vollkommen überzeugt, richtig zu lokalisieren, und empfindet die Berührungsstelle sehr deutlich an dem betreffenden Orte. Bei der vertikalen Handfingerkreuzungslage tritt die Täuschung sicherer auf und ist durch Überlegung und Übung schwerer zu überwinden als bei der horizontalen Lage. Der Einfachheit wegen beschreibe ich im folgenden, wenn ich es nicht ausdrücklich anders bemerke, nur die Täuschung bei der vertikalen Lage; denn Art und Ursache der Täuschung sind für beide Lagen genau analog.

Vp. Dr. Conrad, mit dem ich die Lokalisation bei der Müllerschen Lage genauer untersucht habe, gab z. B. bei Berührung des 3 *l* an: Die Berührung war sofort lokalisiert, und zwar auf die rechte Seite des Komplexes; beim Verfolgen des Fingers wurde dieser nach rechts stehend und mit der Volarseite nach oben gekehrt gesehen; ebenso lag die Volarseite des Handtellers im Bilde schräg nach oben. Dieser Fall zeigt sehr deutlich den einen Typus der in Rede stehenden Täuschung. Man erhält die scheinbare Lage aus der wirklichen dadurch, dafs man die Hand bei unverändert bleibendem Unterarm um 90° in die normalere Lage zurückbiegt, ohne sie aber zu drehen; Finger und Hand liegen dann ungefähr in gerader Fortsetzung des Unterarmes. Neben diesem Typus der Täuschung beobachtete ich aber noch einen anderen, bei welchem ebenfalls Berührung und Finger hinsichtlich der Medianebene symmetrisch zu ihrer wirklichen Lage zu liegen scheinen, aber nicht mit der Volar- sondern mit

der Dorsalseite nach oben gewendet, also genau so, wie die Finger der anderen Hand wirklich liegen. Diese Lage ergibt sich aus der wirklichen, indem man die Lage der Hand relativ zum Unterarm nicht verändert, sondern diesen mit der Hand um ungefähr 180° in die normalere Lage zurückdreht.

Diese beiden Typen stellen den extremen Grad der Täuschung vor; nach einiger Übung im Analysieren der Stellung zeigen sich jedoch Täuschungen, in welchen die scheinbare Lage von der wirklichen nicht so weit entfernt ist.

Es scheinen alle Lagen, die man erhält, wenn man die Hände von der wirklichen in eine der oben beschriebenen, normaleren Lagen zurückbewegt, und ebenso alle Lagen die durch Zurückdrehung und Biegung entstehen, als scheinbare Lagen vorzukommen. Denn es finden sich zwischen den genannten Extremen eine Reihe von Zwischenlagen; und ferner wurde auch von einigen Vpn. ein Wandern des berührten Fingers von der ersten scheinbaren Lage gegen die wirkliche Lage beobachtet. Ich führe einige Beispiele von Zwischenlagen an: Es kam sehr häufig vor, dafs die Finger nicht nach rechts oder links sondern nach oben zu stehen schienen. Vp. Fröbes sagte, dafs ihr die Finger fast gerade nach oben zu stehen schienen, wenngleich sie sich noch sehr bemühe, sie seitlich zu spreizen. Einen sehr klaren Fall von Zurückdrehung in eine mittlere Lage zwischen der wirklichen und der bei der extremen Täuschung vorgestellten Lage beobachtete Vp. Frau Dr. Rupp. Es war 3 *r* berührt, welcher Finger mit der Spitze tatsächlich horizontal nach rechts zeigte; er schien der Vp. jedoch genau auf sie zugerichtet zu sein.

Was von der vertikalen Lage gesagt wurde, gilt auch von der horizontalen. Auch bei dieser kam Zurückbiegung und Zurückdrehung in normalere Lage vor. Bei der ersten erscheinen die Dorsalseiten nach aufsen, bei der letzteren nach innen gerichtet. Auch kommen Zwischenlagen vor; die Finger scheinen dann mehr oder weniger nach vorne und bei Zurückdrehung aufserdem mit den Dorsalseiten nach oben gerichtet zu sein. So beobachtete Vp. Fröbes, dafs die Finger im Bilde einen sehr spitzen Winkel einschlossen, trotzdem er wufste, dafs sie einen stumpfen Winkel bildeten. Was die Zurückdrehung betrifft, möchte ich daran erinnern, dafs eine solche auch bei der Lage 5 ↑ oben von den Vpn. Prof. Müller, Jacobs und Dr. Katz beobachtet worden ist. (Vgl. § 22.)

An einer Vp. konnte ich sehr schön beobachten, daſs die Täuschung für die rechte Hand eher verschwand als für die linke.[1] Es war ein intelligenter Knabe von ungefähr 10 Jahren. In den ersten beiden Versuchstagen zeigte er bei beiden Handfingerkreuzungen die oben beschriebenen extremen Täuschungen: Die berührte Stelle wurde an der zu ihrem wirklichen Ort symmetrisch gelegenen Stelle gezeigt. (Der Finger wurde richtig erkannt mit einer Ausnahme bei der horizontalen Lage, wo der 2 für den 5 gehalten wurde, vgl. § 24.) Bei späteren Versuchen bewegte ich den berührenden Stift von der Wurzel des Fingers bis zur Spitze und lieſs die Richtung des letzteren angeben. Es zeigte sich bei der horizontalen Lage, daſs die sämtlichen Finger beider Hände nach rechts zu stehen schienen, daſs also die Finger der rechten Hand richtig, die der linken Hand falsch lokalisiert wurden; und zwar wurde die letztere mit der Dorsalseite nach oben gerichtet vorgestellt, wie wenn die Hand in die normale Lage zurückgedreht wäre. Ich führte nun zwei Stifte gleichzeitig über je zwei gleichnamige Finger beider Hände von der Wurzel bis zur Spitze und lieſs die scheinbare Entfernung der beiden Berührungen nachträglich bei offenen Augen zeigen. Es ergab sich, daſs dieselbe von der Wurzel der Finger bis gegen das äuſserste Glied hin etwas zuzunehmen und von da ab wieder abzunehmen schien. An den Spitzen wurde ungefähr die Entfernung 1,5 cm gezeigt; die wirkliche Entfernung betrug 5 cm. Bei der vertikalen Lage war die Täuschung nach derselben Anzahl von Versuchen noch nicht verschwunden; nur die Berührung des 2 *r* wurde auf die richtige Seite lokalisiert. Auffallend war aber, daſs bei dieser Lage die linke Hand deutlich nicht nur zurückgebogen, sondern auch zurückgedreht vorgestellt wurde, während die rechte Hand nur zurückgebogen erschien.

§ 28. Nachdem nun die Täuschung in ihren einzelnen Abarten beschrieben ist, will ich versuchen sie zu erklären. Der Weg der Erklärung ist dadurch vorgezeichnet, daſs die Lagen, in welchen der Finger oder die ganze Hand erscheint, normaler sind als die wirklichen Lagen derselben, und daſs erstere im Leben viel häufiger vorkommen. Wir können daher weiter annehmen, daſs

---

[1] Ähnliches beobachtete BURNETT bezüglich analoger motorischer Täuschungen in seiner Schrift: „*Studies in the influence of abnormal position upon the motor impulse.*" (*Psych. Rev.* Vol. XI. 1904), S. 371.

die für sie geltenden Assoziationen relativ schwach sind und infolgedessen durch andere leicht verdrängt werden. Wir müssen aber zu erklären versuchen, wieso die Vorstellungen der normaleren Lagen dazu kommen, an die Erregungen, welche bei den abnormalen Lagen entstehen, assoziiert zu sein.

Zunächst wird man an eine ähnliche Erklärung denken, wie ich sie für die Täuschungen gegeben habe, die bei der einfachen Handkreuzung vorgekommen sind. Es könnte sein, dafs die Erregung, die vom Handgelenk oder von den Fingergelenken herrührt, sich überhaupt nicht an der Reproduktion beteiligt, da im Leben gewöhnlich die Hand und die Finger in geradliniger Fortsetzung des Unterarmes liegen, und wir auf die Erregungen, die aus den genannten Gelenken kommen, nicht mehr zu achten brauchen.[1] Tatsächlich werden bei der extremen Täuschung Hände und Finger in dieser normaleren Lage vorgestellt. Was die Nichtbeachtung der Fingerkrümmung betrifft, so würde diese Erklärung ein Analogon in der aristotelischen Täuschung besitzen. Allein auf diesem Wege erklärt sich zwar der extreme Grad der Täuschungen, nicht aber die ganze Reihe von Täuschungen geringeren Grades. Wir müssen daher nach einem anderen Erklärungsprinzip suchen, womit aber nicht gesagt sein soll, dafs das eben erwähnte Prinzip bei dem extremen Fall der Täuschung nicht auch eine Rolle spiele.

Die verschiedenen Grade lassen sich im Einklang mit feststehenden Gesetzen der Vorstellungsreproduktion auf folgende Weise erklären: Den einzelnen Lagen einer Hand von der Lage, wie sie in der Handfingerkreuzung verwirklicht ist, bis zu der Lage, bei welcher Hand und Finger in gerader Fortsetzung des Unterarmes liegen, entsprechen verschiedene zentripetale Erregungen, welche offenbar umso ähnlicher sind, je weniger die betreffenden Lagen voneinander verschieden sind. An jede solche Erregung ist eine der wirklichen Lage entsprechende räumliche Vorstellung mehr oder weniger fest assoziiert. Ich will zwei solche Erregungen mit α und β, die ihnen entsprechenden richtigen räumlichen Vorstellungen mit a und b bezeichnen. Sind nun α und β ähnlich, so wird, wenn α auftritt

[1] Ich spreche nur der Einfachheit halber von Erregungen, die aus den Gelenken kommen, und will keine Behauptung über den Ursprung dieser Erregungen aufstellen.

nach dem Gesetz der aktiven Substitution nicht blofs die Vorstellung a reproduziert, sondern auch die Vorstellung b. Wenn ferner die Assoziation α—a sehr schwach, die Assoziation β—b stark ist, so kann es sein, dafs bei dem Auftreten von α nur die Vorstellung b reproduziert wird, während die Assoziation α—a unterwertig bleibt. Diese Bedingungen sind aber erfüllt, wenn man zwei Lagen vergleicht, die nicht viel voneinander verschieden sind, z. B. die Lage, wie sie in der Müllerschen Stellung verwirklicht ist, und eine etwas normalere Lage. Ihre Erregungen α und β sind ähnlich, die Assoziationen mit den richtigen räumlichen Vorstellungen sind bei der ersten Lage schwächer, bei der normaleren stärker; es kann also nach dem angegebenen Gesetz die Erregung, welche bei der Müllerschen Lage entsteht, eine Vorstellung der normaleren Lage reproduzieren.

Die angegebene Erklärung reicht jedoch nicht aus. Erstens ist es gewagt, die Erregungen der wirklichen Lage und die Erregungen, welche entstehen, wenn die im extremen Falle der Täuschung sich zeigende scheinbare Lage wirklich ausgeführt wird, als ähnlich anzunehmen. Ferner müfsten, wenn die Erklärung ausreichen würde, dieselben Täuschungen auch dann auftreten, wenn nur eine Hand in die betreffende Lage gebracht wird. Dieses ist aber nicht der Fall. Ich liefs Vp. Fröbes die Müllersche Stellung ausführen und dann die Hände parallel zu sich selbst auseinander schieben. Die Täuschung war jetzt viel geringer; die Hände schienen nur um ungefähr 30° zurückgebogen. Ähnlich sah Vp. Frau Dr. Rupp die Hände nur ganz wenig zurückgedreht. Wenn ich ferner diese Vp. aufforderte, bei geschlossenen Augen die Hand so zu halten, dafs ihr der kleine Finger genau zugekehrt schien, so drehte sie die Hand zwar zu weit, aber nur um einen ganz kleinen Betrag. Auch für die Vpn. Dr. Katz und Jacobs, mit welchen ich denselben Versuch anstellte, war die Täuschung sehr gering. Daraus folgt, dafs bei der Handfingerkreuzung noch andere Faktoren mitspielen müssen, welche die Täuschung erhöhen. Durch ganz einfache Versuche konnte ich nachweisen, dafs ein wesentlicher Faktor, welcher die Täuschung begünstigt, darin besteht, dafs die Hände infolge der bei der Fingerkreuzung entstandenen Reibung passiv in ihrer Lage gehalten werden. Ich führte nämlich mit Vp. Frau Dr. Rupp wieder den Versuch mit einer Hand aus, aber so, dafs ich selbst die Hand in die der Müller-

schen Stellung entsprechende Lage brachte und die Vp. aufforderte, während dieser Manipulation nicht an die Hand zu denken. Die Hand war also wie bei der MÜLLERschen Stellung passiv in ihrer Lage gehalten. Tatsächlich war jetzt die Täuschung bedeutend gröfser, die scheinbare Zurückdrehung betrug ungefähr 90°. Dasselbe Resultat erhielt ich auch bei den Vpn. Dr. KATZ und JACOBS. Die Tendenz, die in abnormer Lage befindliche Hand in einer normaleren Lage vorzustellen, ist also bei passiver Haltung der Hand eine gröfsere.[1] Dies erklärt sich aber wieder nach dem Gesetz der aktiven Substitution ohne Schwierigkeit: Da bei passiver abnormaler Lage die bei der gleichen aktiven Haltung vorhanden gewesenen Muskelkontraktionen wegfallen, so werden die Erregungen der ersteren den Erregungen einer solchen aktiven Lage ähnlich, die viel normaler als diejenige, in welcher die Hand bei der aktiven abnormalen Haltung zu liegen scheint. Es können sich daher an Stelle der richtigen Lagevorstellung solche von bedeutend normaleren Lagen substituieren, als es bei aktiver Haltung der Fall ist.

Zu diesen Ursachen der Täuschung kann beim extremen Grade derselben noch eine weitere hinzutreten. Bei der Lage ↖↗ hatte die Vp. JACOBS den berührten Finger mehrmals im ersten Moment auf der unrichtigen Seite gesehen, und ich versuchte nachzuweisen, dafs diese Täuschung dadurch begünstigt war, dafs die falsche Lagevorstellung stark perseverierte, da bald auf dieser, bald auf jener Seite ein Finger berührt wurde. Etwas Ähnliches wird auch bei unserer Täuschung, und zwar beim extremen Grade derselben der Fall sein. Die sich aufdrängende falsche Lagevorstellung ist offenbar in hoher Bereitschaft, da in der betreffenden Lage tatsächlich Finger liegen, welche vorher gesehen oder in früheren Versuchen vorgestellt wurden.

Anhangsweise will ich bemerken, dafs die Täuschung hauptsächlich bei ruhenden Fingern eintritt, dafs sie hingegen bei Bewegung der Finger verschwindet. Dies beweist folgender Versuch, den ich mit den Vpn. Frau Dr. RUPP und Dr. CONRAD anstellte: Ich liefs bei der MÜLLERschen Stellung erst die Lage des berührten Fingers beschreiben, dann ihn bewegen und danach

---

[1] Derselbe Umstand wirkt wahrscheinlich auch bei der Aristotelischen Täuschung mit.

die durch die Bewegung reproduzierte scheinbare Lage angeben. In allen Fällen, in welchen der Finger vor der Bewegung in falscher Lage vorgestellt wurde, war die nach der Bewegung vorgestellte Lage entweder ganz richtig oder doch viel richtiger als die scheinbare Lage vorher. Nebenbei bemerkt konnte stets und ohne Mühe der richtige Finger bewegt werden, was auch dann keine Schwierigkeit bereitete, wenn die Vp. noch gar nicht wufste, welcher Finger berührt war, und wie der Finger lag. Es erklärt sich danach die Bewegungstendenz, welche sehr häufig zu beobachten ist, namentlich in Fällen, wo die Vp. sich über den Finger oder seine Lage nicht klar werden kann. Bewegt kann der Finger stets werden. Durch die Bewegung aber, im Anschlufs an die dabei auftretenden zentripetalen Erregungen, treten, wie die obigen Versuche zeigen, sofort richtige oder fast richtige Lagevorstellungen auf. Man könnte meinen, diese kommen daher, dafs bei der Bewegung Berührungen an der anderen Hand stattfinden, durch welche die falsche Lage korrigiert werden könnte. Das würde aber voraussetzen, dafs die berührten Stellen der anderen Hand selbst richtig und sicherer lokalisiert seien als die berührenden Stellen des bewegten Fingers. Erstens ist dies von vornherein sehr unwahrscheinlich, zweitens wird die Unbrauchbarkeit der Erklärung dadurch bewiesen, dafs dieselbe Erscheinung auch bei derselben Lage e i n e r Hand auftritt, wo keine Berührung mit der anderen Hand stattfindet. Ich habe mich hiervon durch Versuche mit den Vpn. Frau Dr. Rupp, Jacobs und Dr. Katz überzeugt. Dieselben wurden so ausgeführt, dafs ich selbst eine Hand in die der Müllerschen Stellung entsprechende Lage brachte und die scheinbare Lage vor und nach der Bewegung des berührten Fingers angeben liefs.

Zum Schlusse will ich betonen, dafs die Täuschung, welche ich eben eingehend behandelt habe, nach ihrer Entstehungsweise verschieden ist von der bekannten m o t o r i s c h e n Täuschung, welche bei denselben Lagen vorkommt. Wenn man nämlich der Vp., welche auf ihre Hand hinsieht, einen Finger z e i g t, ohne ihn zu berühren, und sie auffordert, ihn schnell zu bewegen, so wird in der Regel nicht der gezeigte, sondern der zu ihm symmetrisch gelegene Finger bewegt.[1] Diese Täuschung erklärt sich so: Man sieht z. B. den Zeigefinger der rechten Hand mit der Spitze nach

[1] Vgl. Henri a. a. O. S. 139 und Burnett a. a. O. S. 371.

rechts gerichtet; in dieser Lage befindet sich aber gewöhnlich der Zeigefinger der linken Hand, daher wird dieser bewegt.



Betrachtet man das nebenstehende Bild und urteilt ungezwungen, welcher Hand der Finger angehören könnte, so wird man auf einen Finger der linken Hand schliefsen. Auf Grund dieser Deutung der visuellen Wahrnehmung kommt die falsche Innervation zustande. In unserem Fall aber schliefst sich umgekehrt an die bei der Berührung auftretenden Erregungen ein falsches visuelles Bild. Der wesentliche Unterschied zwischen beiden Täuschungen zeigt sich auch darin, dafs bei der von mir beobachteten Täuschung viele Grade der Täuschung vorkommen, während sich bei der „Japanischen Illusion" nur der eine extreme Grad findet.

Ich kehre mit einigen Worten noch einmal zu der früheren Aufgabe, der Erklärung der Reaktionszeiten bei den Handfingerkreuzungslagen zurück. Ich sagte, dafs die Lokalisation infolge der eben beschriebenen Täuschung erschwert sei; und zwar einerseits deshalb, weil die richtige Vorstellung gehemmt wird durch andere sich aufdrängende Bilder, und zweitens, weil infolge dieser falschen Bilder Verwirrung gestiftet wird. Dafs die richtige Vorstellung häufig gehemmt wird,. ist sicher, denn es kommt erstens in vielen Fällen zu einem vollständigen Siege der hemmenden Vorstellungen, und ferner wird häufig ein Schwanken zwischen der richtigen und einer oder mehreren falschen Vorstellungen beobachtet. Vp. Prof. Müller gab einige Male an, dafs das Bild des Fingers immer mehr und mehr nach der richtigen Stelle hinwandere. Auch beobachtete er manchmal zwei Bilder gleichzeitig nebeneinander. Dr. Conrad beobachtete, dafs der Finger aus der falschen Lage, in welcher er anfangs erschien, in die richtige hinübersprang; einmal war die falsche Lokalisation so flüchtig, dafs er nur den Finger in die richtige Lage springen sah, ohne die Lage und Richtung, aus welcher er kam, zu erkennen.[1] In anderen Fällen wurde angegeben, dafs mehrere Tendenzen für irgend welche Bilder vorhanden waren,

[1] Es ist zu beachten, dafs hier der Finger selbst von der einen in die andere Lage geht, während für die Vp. Jacobs bei der Handkreuzungslage (vgl. § 19) der in der anfänglichen falschen und der in richtiger Lage erscheinende Finger verschiedene Finger waren.

ohne dafs eines derselben klar aufgetreten wäre. Vp. Fröbes beobachtete, dafs er eine Zeit lang passiv wartete, ehe das klare Bild erschien. Aus allen diesen Beobachtungen, die sich bei verschiedenen Vpn. wiederholen, geht deutlich der hemmende Einflufs der falschen Vorstellungen hervor, welche im Falle der Täuschung über die richtigen Vorstellungen vollständig siegen.

Ich will noch Beispiele anfügen, in welchen deutlich beobachtet wurde, wie durch die Täuschung eine Konfusion eintreten kann. Schon das Auftreten mehrerer Bilder für denselben berührten Finger mufs verwirrend wirken. Noch viel mehr scheint aber eine Konfusion dadurch zu entstehen, wenn ein Finger richtig, ein anderer falsch lokalisiert wird. So stellte Vp. Prof. Müller bei Berührung des Zeigefingers den kleinen Finger derselben Hand mit vor, erschrak jedoch, als derselbe nach der anderen Seite stand. Vp. Küchler sah in der Mitte des Händekomplexes die sich kreuzenden Finger und hatte gleichzeitig die Fingerspitzen sehr weit nach aufsen auf die falsche Seite lokalisiert; er stellte sich nämlich die Hände so vor, wie wenn sie zurückgebogen wären, wodurch natürlich die Finger weit seitlich zu liegen kamen, ähnlich wie bei der Handkreuzung. Das resultierende Gesamtbild war infolgedessen unrichtig, die Finger erschienen unnatürlich lang.[1]

B. Erklärung der bei der Handbestimmung erhaltenen Resultate.

§ 29. Ich komme nun zur Erklärung der Resultate der Zeitmessung, die ich für die Handbestimmung erhalten habe. Es hatte sich ergeben, dafs die Handbestimmung bei der Hand-

[1] Dieses Beispiel ist auch insofern interessant, als es zeigt, wie ein Bild aus einzelnen voneinander unabhängigen Anhaltspunkten zusammengesetzt werden kann. In unserem Fall sind dies die Kreuzungsstelle und die davon weit entfernt lokalisierten Fingerspitzen. Aus ihnen wurde das Bild der Finger ergänzt; denn dieses Bild konnte wegen seiner unnatürlichen Länge unmöglich als fertiges Bild assoziiert sein. — An mir selbst beobachtete ich einen ähnlichen Fall: Ich lag auf einem Divan und hatte zufällig den Arm seitwärts gestreckt, so dafs er auf einem neben mir stehenden Tischchen aufruhte. Dieses Tischchen hatte ich in meiner Erinnerung ungefähr einen Meter weit von mir lokalisiert; dementsprechend und infolge dieser Lokalisation stellte ich mir auch den Arm ungefähr einen Meter lang vor. Die Täuschung blieb bestehen, trotzdem ich schon das Widersinnige des Bildes erkannt hatte.

kreuzung ⋎ bei allen Vpn. länger dauerte als bei der Parallelstellung ↑↑. Um dies zu erklären, wird man zunächst daran denken, das bei der Fingerbestimmung erhaltene Resultat zu verwerten, dafs die Assoziationen für die gekreuzte Lage langsamer wirken und durch andere Reproduktionstendenzen gehemmt werden. Dieser Faktor mag mitgespielt haben; positive Anhaltspunkte dafür konnte ich jedoch nicht finden. Hingegen läfst sich aus den bei der Handbestimmung relativ häufig vorkommenden falschen Reaktionen und den Tendenzen zu solchen mit Sicherheit auf einen Faktor schliefsen, der sicher eine Hauptursache des erwähnten Unterschiedes der Reaktionszeiten bildete. Ich führe einige typische Beispiele der hierher gehörigen Beobachtungen an: Vp. Frau Dr. Rupp gab an, dafs sie die Berührungsstelle richtig nach rechts lokalisiert und gleichzeitig geglaubt habe, dafs die berührte Hand wirklich die rechte sei; sie empfand auch ein leises Gefühl im rechten Ellbogen; im nächsten Moment, noch vor der Reaktion, erkannte sie aber den Irrtum. In diesem Fall war also die Vp. einen Augenblick wirklich getäuscht. Vielleicht ist die von verschiedenen Vpn. wiederholt geäufserte Bemerkung, dafs sie auf Grund der Lokalisation der Berührung nach rechts oder links die rechte oder linke Hand genannt hätten, ebenso zu verstehen, dafs sie nämlich die berührte Hand tatsächlich für diejenige hielten, welche sie genannt hatten. In der Mehrzahl der Fälle, wo ein falscher Name genannt worden war oder sich wenigstens im ersten Moment aufgedrängt hatte, bestand jedoch insofern keine Täuschung, als die Vp. die genannte Hand nicht berührt glaubte. Dies geht deutlich aus folgenden Angaben hervor: Vp. Professor Müller hatte bei Berührung von 1 *l* (Lage ⋎ 1 oben) „rechts" gesagt, trotzdem die Hand schon bis zum Arm verfolgt worden war; der Name war *mechanisch* gekommen, er *bedeutete* subjektiv weder die Hand noch die rechte Seite des Raumes; an letztere hatte die Vp. gar nicht gedacht. Ähnliche Fälle von einem blofsen „Versprechen" beobachteten auch die Vpn. Frau Dr. Rupp und Fröbes.[1]

Nicht immer kam es zu einer Fehlreaktion; häufig drängte

---

[1] Bei einer ähnlichen Täuschung bei *Finger*bestimmung äufserte Vp. Jacobs, er wisse nicht, wie er dazu komme, dieses Wort zu sagen, er hätte an den genannten Finger nicht einen Moment gedacht. Sonst wisse er, was er sage, diesmal aber sei dies nicht der Fall gewesen.

sich der falsche Name blofs einen Moment auf, wurde aber noch vor der Reaktion durch den richtigen Namen verdrängt. Solche Tendenzen, das falsche Wort zu sagen, beobachteten alle Vpn. Endlich kamen Fälle vor, in welchen die Hand bereits erkannt war, der richtige Name jedoch eine Zeitlang nicht einfallen wollte. Offenbar war auch hier der falsche Name in Bereitschaft; wenn er auch nicht die Kraft hatte ins Bewufstsein zu treten, so hemmte er doch die Reproduktion des richtigen Namens.

Der zuerst erwähnte Fall, in welchem es zu einer wirklichen Täuschung kam, erklärt sich ganz ähnlich wie die bei der Lage 5 oben beobachteten Fingerverwechslungen. An die z. B. für die rechte Hand charakteristischen Erregungen ist zunächst die Vorstellung der Lage rechts im Raume und erst an diese die Vorstellung der rechten Hand und damit auch das Wort „rechts" assoziiert. Die an zweiter Stelle erwähnten Fälle eines „Sich-Versprechens" beruhen darauf, dafs z. B. das Wort „rechts" nicht blofs an die Vorstellung der rechten Hand, sondern auch an die Vorstellung der Lage in der rechten Raumhälfte assoziiert war. Nun wurde, wie im ersten Falle, und wie wir schon bei Fingerbestimmung wiederholt gesehen haben, die Berührung meistens sehr schnell l o k a l i s i e r t, während die spezifische Vorstellung der rechten Hand, welche bei diesen Versuchen in der Regel in einer Vorstellung der Hand bis zum Unterarm bestand, sich selbstverständlich langsamer reproduzierte. Es kam also die Lagevorstellung früher zu ihrer reproduzierenden Wirksamkeit als die Handvorstellung, woraus sich die Reproduktion des falschen Namens ohne weiteres erklärt. Dazu kam noch, dafs, wie aus den erwähnten Beobachtungen zu entnehmen ist, die Handvorstellung sehr träge das ihr entsprechende Wort reproduzierte; denn die Hand war schon zum Arm verfolgt und doch siegte noch die andere Reproduktion. Dafs das reproduzierte falsche Wort nicht die B e d e u t u n g der betreffenden Hand besafs, ändert an der eben angestellten Überlegung nichts. Jedoch ist es interessant und verdient hervorgehoben zu werden, dafs bei Einstellung auf H a n d nennung, welche bei unseren Versuchen sicher bestand, der durch die L a g e vorstellung reproduzierte falsche Name n i c h t die B e d e u t u n g d e r L a g e im Raume trug, sondern leeres Wort ohne Bedeutung blieb.

Dieselben Ursachen, welche bewirken, dafs das falsche Wort schneller reproduziert wird als der richtige Name, wirken auch

dahin, dafs die Reaktionszeiten für die richtige Handnennung bei der Handkreuzung länger sind als bei der Parallelstellung. Denn bei der letzteren kann sich das Wort schon an die Lagevorstellung der berührten Stelle anschliefsen. Wenn aber auch die Hand verfolgt würde wie bei der gekreuzten Lage, so bestünde immer noch der Unterschied, dafs keine hemmende Reproduktion vorhanden wäre wie bei der letzten Lage.

Anmerkung: Wenn man umgekehrt die Lage im Raume bestimmen läfst, so wird manchmal die Hand statt der Raumhälfte genannt. Bei den Vpn. Prof. Müller, Fröbes und Brandt konnte ich diese Fehlreaktion nur sehr selten (zusammen 5mal bei ca. 80 Versuchen) beobachten; auffallend ist, dafs dieselbe nur bei Berührung des 1 oder 5 vorkam. Als ich an mir selbst gruppenweise abwechselnd einmal die Hand, einmal die Raumhälfte bestimmte, so hatte ich zwar bei Handbestimmung eine starke Tendenz den falschen Namen zu nennen, bei Bestimmung der Raumlage hingegen gelang die Reaktion stets ohne Schwierigkeit. Anders verhielt es sich bei den Vpn. Frau Dr. Rupp und Küchler; sie lieferten bei Bestimmung der Raumlage im Anfange häufig Fehlreaktionen, indem sich der falsche Name reflexartig aufdrängte; nach einer Reihe von Versuchen zeigte sich jedoch eine Einstellung auf die neue Reaktionsart. Es scheint also mehrere Typen zu geben: Bei dem einen Typus ist der Name vorwiegend an die Raumhälfte assoziiert; es wird daher im Falle der Handbestimmung bei der gekreuzten Lage häufig der falsche Name genannt, hingegen bei Bestimmung der Raumhälfte richtig reagiert. Der zweite Typus, welchem die zuletzt genannten Vpn. angehören dürften, besteht darin, dafs die Worte „rechts“ und „links“ ebensosehr an das spezifische Handbild wie an die Raumhälfte assoziiert sind; es treten daher bei Handbestimmung wie auch bei Bestimmung der Raumhälfte Fehlreaktionen auf; jedoch bildet sich nach einer Anzahl von Versuchen eine Einstellung auf jede Reaktionsweise. Endlich dürfte es noch einen dritten Typus geben, dem vermutlich Erblindete angehören werden, bei welchen die Worte „rechts“ und „links“ vorwiegend an eine spezifische Handvorstellung assoziiert sind, und welche bei Nennung der Hand stets richtig, bei Nennung der Raumhälfte häufig falsch reagieren werden.

In der Tabelle XVIII sind die Resultate, welche die Vp. Brandt bei Bestimmung der Raumhälfte lieferte, angegeben. Nach dem Gesagten wird man erwarten, dafs die Reaktionszeiten bei der Handkreuzung nicht länger sind als bei der Parallelstellung. Die erste Lage ist aber doch etwas benachteiligt. Es läfst sich schwer entscheiden, ob dies auf einer schwachen Hemmung durch Assoziation des Wortes an die spezifische Handerregung beruht, oder ob die Lokalisation bei der gekreuzten Lage sich etwas langsamer vollzieht als bei der Parallelstellung.

Was bezüglich der Handbestimmung von der Handkreuzungslage V gesagt wurde, gilt auch von der Fingerkreuzung X; nur ist hier die Lokalisation nach rechts und links weniger aus-

geprägt, so dafs die falsche Reproduktion des Namens auf Grund der Lokalisation der Berührungsstelle nicht so stark sein wird. Da aber im Gegenteil die Reaktionszeiten bei der Fingerkreuzung länger sind als bei der Handkreuzung, so müssen noch andere Ursachen mit im Spiele sein.

Tabelle (Reihe) XVII, Vp. Frau Dr. Rupp.

Verschiedene Lagen beider Hände vor der Brust und eine Lage hinter dem Rücken. Es wurde die Dorsalseite der Spitzenglieder berührt, und zwar jeder Finger jeder Hand bei jeder Lage 2 mal. Die Reaktionszeiten der analogen Stellen beider Hände sind zusammengezogen, also $n = 4$ für jeden Finger. 2 Versuchstage, an jedem kam jede Lage einmal vor mit 10 Versuchen. Es war passive Vorbereitung vorgeschrieben.

Handnennung						
Lage	Daumen	Zeigef.	Mittelf.	Ringf.	kleiner Finger	Ar. Mittel
↑↑ 1 oben	310	310	326	355	354	331
⩗ 1 oben	317	332	310	322	336	323
⤧ 1 oben	421	316	343	354	374	362
ꙋ hor.	374	367	311	360	388	360
ꙋ vert.	425	432	485	542	375	452
⩘ 1 oben	330	375	378	361	388	366

Tabelle (Reihe) XVIII, Vp. Brandt.

3 Lagen beider Hände vor der Brust und eine Lage hinter dem Rücken. Es wurden stets die Dorsalseiten der Spitzenglieder berührt, jeder Finger jeder Hand bei jeder Lage 4 mal. Die Reaktionszeiten der analogen Berührungsstellen beider Hände sind zusammengezogen, also $n = 8$ für jeden Finger. 4 Versuchstage, an jedem kam jede Lage 2 mal vor mit jedesmal 5 Versuchen. Art der Vorbereitung war freigestellt. Als Reaktion war vorgeschrieben zu bestimmen, ob die Berührung in der rechten oder linken Raumhälfte zu liegen scheine.

Bestimmung der Raumlage						
Lage	Daumen	Zeigef.	Mittelf.	Ringf.	kleiner Finger	Ar. Mittel
↑↑ 1 oben	335	274	249	277	309	289
⩗ 1 oben	395	322	358	313	322	342
⩗ 5 oben	375	326	290	333	347	334
⩘ 1 oben	450	379	303	352	480	393

Bei beiden gekreuzten Lagen kann sich die Vp., wenn sie die Hand bestimmen will, nicht auf die Lokalisation der Berührungsstelle im Raume verlassen. Es mufs also auf anderem Wege die Hand bestimmt werden. Alle Vpn. geben an, dafs sie in der Regel die Hand zum Arme hin verfolgen; manchmal sei auch die Vergegenwärtigung der Richtung des Fingers hinreichend. Um also die Hand richtig zu bestimmen, stellen sich die Vpn., wie sie selbst gelegentlich sagten, auf die Verfolgung zum Arme oder auf die Vorstellung der Richtung des Fingers ein, und diese Einstellung bewirkt, dafs die Reproduktion bestimmter Vorstellungen gestärkt und die anderer, überflüssiger Vorstellungen durch den Mangel an Übung geschwächt wird, so dafs die letzteren mit der Zeit nicht nur nicht zur Apperzeption kommen, sondern offenbar auch in den Reproduktionsvorgang nicht mehr störend eingreifen.

In der Verfolgung der Hand zum Arme, welche nur bei der gekreuzten Lage vorgenommen wird, erkennt man zunächst eine weitere Ursache dafür, dafs die Reaktionszeiten bei diesen Lagen länger sind als bei der Parallelstellung. Ferner finden wir auf diesem Wege auch eine Erklärung für die früher erwähnte Tatsache, dafs die Fingerkreuzung längere Reaktionszeiten beansprucht als die Handkreuzung. Es läfst sich nämlich leicht einsehen, dafs die Verfolgung zum Arme bei der ersteren Lage schwieriger ist. Denn beim Verfolgen mufs die Hand isoliert werden. Aus denselben Gründen aber, die am Schlufs des § 26 für die Handfingerkreuzung geltend gemacht wurden, bestehen auch bei der Fingerkreuzung besondere Schwierigkeiten, eine Hand aus dem Händekomplex herauszuheben.

Ich führe nun einige genauere Angaben der Vpn. über den Vorgang der Verfolgung der Hand zum Arme an: Vp. Prof. Müller verfolgte den Finger visuell bis zum Handgelenk und Unterarm sowohl bei der Hand- wie bei der Fingerkreuzung. Nur bei Berührung des Daumens und des Zeigefingers gab er wiederholt an, dafs es nicht nötig sei, soweit zu verfolgen; der Finger brauche nur bis gegen das Handgelenk hin gesehen zu werden. Bei der Fingerkreuzung beobachtete er, dafs deutlich zwei getrennte Stadien vorhanden waren: die Vorstellung des Fingers und die Verfolgung der Hand; dafs ferner das Bild hinter der Kreuzung wie abgeschnitten erscheine, und dafs es, um über die Kreuzungsstelle hinweg zur Mittelhand zu kommen,

eines gewissen Zwanges bedürfe. Bei den letzten Versuchen der Reihe sei es nicht mehr nötig gewesen, den Finger bis zur Hand zu verfolgen, es hätte das Bild des Fingers allein genügt, aus der Richtung desselben habe er schon die Hand erkannt. Ähnliche Beobachtungen machte Vp. Frau Dr. Rupp: Der Finger wurde zum Arm verfolgt, in der Regel entstand dann im Ellbogen ein leises Gefühl; an den Kreuzungsstellen empfand auch diese Vp. ein Hemmnis für das weitere Verfolgen. Sie beobachtete ferner mehrmals den Fall, dafs nur die Fingerspitzen und ein leises Gefühl im Arme lokalisiert waren, während die übrige Hand nicht vorgestellt wurde. Vp. Dr. Katz hatte bei dem Verfolgen der Hand die Empfindung, wie wenn ein leises Gefühl von der Berührungsstelle zum Arme laufen würde; er beobachtete dabei eine schwache Bewegungstendenz.

Neben dem eben beschriebenen Verfahren, die Hand zu bestimmen, kommt noch ein anderes Verfahren vor. Wie wir früher gesehen haben, dafs der Finger häufig nach seinem spezifischem Gefühl erkannt wird, so gibt es auch ein spezifisches Handgefühl, welches die Hand auch dann erkennen läfst, wenn die räumliche Lage der Hand nicht vorgestellt wird. Vp. Frau Dr. Rupp gab an den letzten Versuchstagen an, dafs sie die Hand viel leichter erkenne, wenn sie an die Lage gar nicht denke, die Berührung nicht lokalisiere, sondern ganz unmittelbar die Hand bestimme. Tatsächlich war an einem früheren Versuchstage, wo die Hand räumlich verfolgt wurde, die mittlere Reaktionszeit für die Lage ⩔ 1 oben 714 σ; an dem letzten Tage, an welchem bei derselben Lage die Berührung und die Hand gar nicht lokalisiert wurden, war die mittlere Reaktionszeit 457 σ. Bei der Fingerkreuzungslage hatte die Vp. auch an dem letzten Tage zuweilen die Hand verfolgen müssen. Auch in Fällen, wo die Hand räumlich verfolgt wurde, kam es vor, dafs die Vp. schon im ersten Moment wufste, welche Hand berührt sei, und dafs sie nur zur gröfseren Sicherheit die Hand verfolgte. Ähnlich wie diese Vp. beobachtete auch Vp. Dr. Katz bei mehreren Versuchen, dafs er die Hand unmittelbar bestimme, ohne sie vorher zu lokalisieren; er erkannte schon am Gefühl des Reizes, dafs bei dieser Berührung dieselbe oder die andere Hand berührt sei wie in dem vorhergehenden Versuch. Vereinzelt gab auch Vp. Prof. Müller an, dafs er die Hand erkannt und auch reagiert habe, bevor ein lokalisiertes Bild vorhanden war.

Ich wollte nun untersuchen, ob bei bloſser Entscheidung nach dem *Gefühl* die Handbestimmung bei gekreuzter Lage auch noch längere Zeit beanspruche als bei ungekreuzter Lage. Ich stellte mit Vp. Frau Dr. Rupp solche Versuche an, in welchen ich die Instruktion gab, ganz unmittelbar auf den ersten Eindruck hin zu urteilen. Bei diesen Versuchen verschwanden die Fehlreaktionen, die Urteile waren durchaus richtig. Die Tabelle XVII gibt die Resultate. Wir sehen, daſs tatsächlich bei den Lagen ↑↑ und ⤨ die Hand gleichschnell erkannt wurde, während bei den früheren Versuchen eine beträchtliche Differenz vorhanden war. Dieses Resultat ist gleichzeitig eine Bestätigung dafür, daſs hier wirklich nicht nach der Lage der Hand geurteilt wurde; denn wäre dieses der Fall gewesen, so müſsten nach dem Ergebnis der früheren Reihe die Reaktionszeiten bei der gekreuzten Lage länger sein. Bei der Fingerkreuzung ist die mittlere Reaktionszeit allerdings gröſser als bei der Parallelstellung. Das hängt jedoch wahrscheinlich damit zusammen, daſs durch die, bei der gegenseitigen Berührung der Hände entstehenden Empfindungen die Tastempfindung übertönt wurde, und daſs infolgedessen ihre spezifische Färbung, die sie als von dieser Hand herrührend charakterisiert, schwer erkennbar war.

§ 30. Bei Vergleichung der beiden Lagen ⤨ *1 oben und* ⤨ *5 oben* hat sich ergeben, daſs die Hände für die Vpn. Frau Dr. Rupp und Dr. Katz in beiden Fällen gleich leicht erkennbar sind. Dies erklärt sich dadurch, daſs in beiden Lagen Finger und Hände nur sehr undeutlich, bloſs in ihrer Richtung nach rechts oder links vorgestellt werden. Für die Fingerbestimmung waren deutlichere Bilder nötig, es genügte nicht, daſs der Finger nach rechts oder links lokalisiert war, es muſste vor allem klar sein, der wievielte Finger der betreffende war, vom Daumen oder vom kleinen Finger aus gerechnet. Für diese genaueren Vorstellungen lieſs sich feststellen, daſs ihre Reproduktion bei der Lage 5 oben schwächer war als bei der Lage 1 oben. Aus den jetzigen Resultaten erfahren wir, daſs die bloſse Vorstellung der Richtung nach rechts oder links ohne spezifische Fingervorstellung in beiden Lagen sich gleich schnell vollzieht. Dieses Resultat bestätigt sich auch durch die Versuche mit Vp. Brandt, in welchen ich bloſs angeben lieſs, ob die Berührung rechts oder links im Raume liege. Wie die Tabelle XVIII zeigt, waren die Reaktionszeiten für beide Lagen gleich groſs.

Zu der Versuchsreihe XIII mit Vp. Frau Dr. Rupp, in welcher die Hand nach räumlichen Kriterien, nicht nach dem spezifischen Gefühl bestimmt wurde, ist noch eine Bemerkung hinzuzufügen. Die Tabelle zeigt bei der Lage $\vee$ 1 oben eingeklammerte Zahlen. Vergleicht man dieselben mit den bei der Lage 5 oben erhaltenen Zahlen, so sieht man, dafs sie gröfser sind. Wirklich zeigte sich bei der Lage 1 oben in sechs Fällen eine Schwierigkeit, welche es bewirkte, dafs die durchschnittlichen Reaktionszeiten bei dieser Lage gröfser waren, als bei der Lage 5 oben. In diesen Fällen schienen nämlich die berührten Finger genau in der Mitte nach vorne zu stehen, und dadurch war die Zuordnung zu der einen oder anderen Hand sehr erschwert. Es ist auffallend, dafs diese Schwierigkeit nur bei der Lage 1 oben vorkam. Der Grund wird wahrscheinlich darin liegen, dafs bei dieser Lage die berührten Dorsalseiten einander zugekehrt sind, während sie bei der anderen Lage aufsen liegen. (Inwiefern dieser Umstand eine solche Wirkung hat, habe ich noch nicht untersucht.) Rechnet man diese 6 Fälle nicht mit, so kommen die Werte heraus, welche in der Tabelle nicht eingeklammert sind. Aus dem Bestehen der eben erwähnten Schwierigkeit ergibt sich zugleich, dafs die Hand tatsächlich nach der Lage und Richtung des Fingers beurteilt wurde, da die Handbestimmung sehr erschwert war, wenn diese räumlichen Kriterien fehlten. Ich erwähne noch, dafs von den 6 Berührungen, bei welchen die genannte Schwierigkeit bestand, drei an den Daumen, zwei an den kleinen Fingern und eine an einem Ringfinger stattgefunden hatten.

§ 31. Ich habe nun noch die Handbestimmung bei den Handfingerkreuzungslagen zu besprechen. Aus den Beobachtungen der Vpn. ergab sich, dafs die Kriterien, nach welchen die Hand bestimmt wurde, wesentlich dieselben waren, wie ich sie bei den eben angeführten Lagen besprochen habe. Ich führe Beispiele für jedes Kriterium an. In vereinzelten Fällen wurde die Hand nach der Lage der Berührungsstelle im Raume bestimmt; lag dieselbe rechts, so wurde auch rechts gesagt. Wenn die Lage der Berührungsstelle richtig vorgestellt wurde, so lieferte dieses Kriterium auch ein richtiges Resultat. Wenn aber infolge der oben ausführlich beschriebenen Täuschung die berührte Stelle nach der anderen Seite lokalisiert wurde, so ergab sich eine falsche Reaktion. Häufiger als nach der Lage

der Berührungsstelle wurde die Hand aus der Richtung des Fingers bestimmt. Vp. FRÖBES gab mehrmals an: In der Richtung, in welcher der Finger vorgestellt wurde, liegt schon enthalten, zu welcher Hand er gehören mufs. Es ist dieses dasselbe Kriterium, wie es bei der in § 28 am Schlusse erwähnten „japanischen Illusion" benutzt wird. Wenn die Hand in einer der Lagen erscheint, welche ich als extremen Grad der Täuschung beschrieben habe, führt das Verfahren, die Hand nach der Richtung des Fingers zu bestimmen, zu einem richtigen Resultat. Häufig wurde auch das sozusagen vollständigste Kriterium angewendet, indem die Hand zum Arm verfolgt wurde. Vp. Prof. MÜLLER bediente sich fast ausschliefslich dieses Kriteriums. Das Verfolgen machte grofse Schwierigkeiten, was nach dem, was ich oben über die Schwierigkeiten bei den Handfingerkreuzungen gesagt habe, zu erwarten ist. Wenn ein mittlerer Finger berührt war, konnte die Vp. von ihm aus nicht die Hand verfolgen, sondern sie mufste erst die gegen einen Rand der Hand zu gelegenen Finger mit vorstellen; das Bild des ulnaren oder radialen Randes der Mittelhand reproduziert sich leichter als die Mitte der Volar- oder Dorsalseite derselben; es mufs also vermittels des Randbildes die Hand verfolgt werden. Leichter gelang die Verfolgung Dr. CONRAD, der nur einen flüchtigen Bogen von dem Finger hinunter zum Unterarm mit seiner Aufmerksamkeit beschrieb, um die Hand zu bestimmen; manchmal spürte er dabei ein leises Gefühl die Hand hinunterlaufen. Vp. FRÖBES brauchte nur selten die Hand zum Arme zu verfolgen. In einem Falle, wo dies nötig war, suggerierte er sich das Schema der Handfingerkreuzung und prüfte, ob nicht widerstrebende Empfindungen auftreten. Vp. BAADE ist meistens nicht imstande, die Hand visuell zu verfolgen. Er kann sich zwar mit grofser Mühe den Finger in seiner Krümmung vorstellen, die weitere Fortsetzung hinter der Kreuzungspartie vermag er aber nicht zu finden. Er bestimmte einigemale die Hand so, dafs er das Gefühl im berührten Finger und das im Arm sich möglichst deutlich vorstellte und versuchte, ob sie zusammen gehören; dabei traten Bewegungstendenzen auf. Dieses Verfahren scheint schon Ähnlichkeit zu haben mit dem letzten noch zu erwähnenden Kriterium, der Handbestimmung durch ein spezifisches Handgefühl. Vp. BAADE wufste in einigen Fällen die Hand sogleich, bevor er Finger und Berührung lokalisieren konnte. Auch Vp. Frau Dr. RUPP konnte ohne

irgend welches räumliches Kriterium sofort die Hand bestimmen. Ich stellte ähnlich wie oben mit dieser Vp. Versuche an, in welchen ich Handbestimmung nach dem unmittelbaren Gefühl vorschrieb. Die Tabelle XVII zeigt, wie wenig sich die Reaktionszeiten, welche bei den Handfingerkreuzungslagen erhalten wurden, von den einfachen Lagen unterscheiden. Der geringe Unterschied, der besteht, ist nicht auf Kosten einer räumlichen Verfolgung zu schreiben, sondern wahrscheinlich wieder dadurch zu erklären, daſs neben der Berührungsempfindung starke andere Empfindungen vorhanden sind, welche die erstere übertönen und ihrer schnellen deutlichen Apperzeption hinderlich sind. Von diesem Gesichtspunkt aus erklärt sich auch, daſs die vertikale Handfingerkreuzungslage, bei welcher besonders starke Pressungen und Zerrungen vorkommen, etwas längere Reaktionszeiten beansprucht als die horizontale.

II. Abschnitt.

Vergleichung von Lagen vor der Brust und hinter dem Rücken.

§ 32. Ich stellte mir auch die Aufgabe, Lagen vor der Brust mit solchen hinter dem Rücken zu vergleichen. Um möglichst rein den Einfluſs zu erhalten, den es hat, wenn die Hand hinter dem Rücken liegt, verglich ich die betreffenden Lagen mit solchen Lagen vor der Brust, die in allen übrigen Punkten den ersten gleich waren. Ich wählte diejenige Lage als die zu einer vorderen analoge, welche man aus der letzteren erhält, wenn man den Arm erst seitlich, dann nach hinten bewegt. Die Tabelle XIX gibt die Resultate an, welche die Vp. Brandt für zwei Lagen vor der Brust und die ihnen analogen Lagen hinter dem Rücken geliefert hat. Man sieht, daſs zwischen den Reaktionszeiten der analogen Lagen kein wesentlicher Unterschied besteht. Die kleinen Differenzen, welche vorhanden sind, können nicht als wesentlich betrachtet werden, da die Reaktionszeiten für dieselben Finger bei der einen und anderen Lage nicht immer eine Differenz in demselben Sinne aufweisen. (Zwischen den beiden Lagen vorne und ebenso zwischen den beiden Lagen hinter dem Rücken ist ein beträchtlicher Unterschied vorhanden.)

Tabelle (Reihe) XIX, Vp. Brandt.

Zwei Lagen der linken Hand vorne und die zwei analogen Lagen hinten. Es wurden sowohl die einzelnen Fingerglieder wie auch die Ballen berührt, und zwar stets die Volarseite derselben. Jede Stelle kam bei jeder Lage 4 mal zur Berührung, die Reaktionszeiten der einzelnen Glieder und des Ballens jedes Fingers sind zusammengezogen, also $n = 16$ bzw. 12 für jeden Finger. 11 Versuchstage, an jedem kam jede Lage 2 mal vor mit 3 bis 4 Versuchen. Art der Vorbereitung war freigestellt. Die Vp. hatte zu reagieren, wenn sie Finger und Glied wufste.

Finger- und Gliednennung

Lage	Daumen	Zeigef.	Mittelf.	Ringf.	kl. Finger	Ar. Mittel
↑ Vol. oben	625	620	780	782	642	690
↓ Vol. oben	582	677	868	819	639	717
↑ Vol. oben abn.	660	721	869	943	757	793
↓ Vol. oben abn.	704	753	974	864	704	808

Tabelle (Reihe) XX, Vp. Frau Prof. Müller.

Eine Lage der linken Hand vorne und eine Lage hinten. Es wurde die Dorsalseite der Spitzenglieder berührt, und zwar jede Stelle bei jeder Lage 4 mal, also $n = 4$ für jeden Finger. 2 Versuchstage, an jedem kam jede Lage 2 mal mit je 5 Versuchen vor. Art der Vorbereitung war freigestellt.

Fingernennung

Lage	Daumen	Zeigef.	Mittelf.	Ringf.	kl. Finger	Ar. Mittel
↑ Dors. oben	503	630	599	583	564	576
↓ Vol. oben	640	964	593	807	531	707

Tabelle (Reihe) XXI, Vp. Dr. Conrad.

Eine Lage der linken Hand vorne und eine Lage hinten. Es wurde die Dorsalseite der Spitzenglieder berührt, und zwar jede Stelle bei jeder Lage 2 mal, also $n = 4$ für jeden Finger. 1 Versuchstag, jede Lage kam 2 mal vor mit jedesmal 5 Versuchen. Art der Vorbereitung war freigestellt.

Fingernennung

Lage	Daumen	Zeigef.	Mittelf.	Ringf.	kl. Finger	Ar. Mittel
↑ Dors. oben	731	608	687	516	633	635
↓ Vol. oben	785	670	606	768	670	700

Bevor ich auf die Erklärung dieses Resultates eingehe, will ich einen Punkt hervorheben: Die analogen Lagen vorne und hinten, welche ungefähr gleiche Reaktionszeiten besitzen, sind ganz verschieden bequem; während die Supinationslage vorne leicht auszuführen ist, ist die analoge Lage hinter dem Rücken sehr unbequem; manche Vp. wird sie vielleicht überhaupt nicht ausführen können. Umgekehrt ist die abnormale Supinationslage vorne sehr unbequem, hingegen die analoge Lage hinten viel bequemer. Die starken Spannungsempfindungen, welche in den unbequemen Lagen entstehen, sind sowohl im Arm, wie auch in der ulnaren Hälfte des Handtellers und der Finger lokalisiert. Es ist daher wahrscheinlich, dafs die Bequemlichkeit einer Lage an und für sich nichts mit der Schwierigkeit der Lokalisation zu tun hat. Nur insofern die unbequemere Lage in der Regel auch die ungewöhnlichere ist und daher schwächere Assoziationen besitzt, erfordert sie längere Reaktionszeiten.

Anmerkung: Bei Reihe XIX, welche ich gleichzeitig mit den beiden Reihen I und II anstellte, habe ich mehrere Urteile verlangt: ich liefs Finger und Glied bestimmen. Da aber hier die Reaktionszeiten gleich grofs waren, so sind die Resultate dennoch eindeutig. Sie zeigen, dafs sowohl die Hand- wie auch die Fingerbestimmung in beiden Lagen gleich lange dauerten; denn für die Annahme, dafs die gleichen Reaktionszeiten dadurch erhalten seien, dafs bei der einen Lage die Gliedbestimmung leichter und dafür die Fingerbestimmung um ebensoviel schwieriger sei, liegt kein Anhaltspunkt vor. Das innere Verhalten ist im Gegenteil in den analogen Lagen vollständig gleich.

Die Erklärung für das angegebene Resultat ergibt sich leicht auf Grund der Beobachtungen über das innere Bild, welches sich die Vp. Brandt von ihren Händen entwirft. Bei den Lagen vor der Brust hat die Vp. das Bild ihrer Hände (und zwar der berührten Volarseite) nicht an der wirklichen Stelle, sondern in Augenhöhe, ungefähr eine Spanne von dem Gesicht entfernt. Genau dasselbe Bild an genau derselben Stelle hat sie, wenn die Hand sich in der analogen Lage hinter dem Rücken befindet. Wenn ein Finger berührt wird, tritt er sogleich in dem Bilde vor den Augen hervor, er wird deutlicher, während die übrigen Teile der Hand zurücktreten. Nur in zwei Fällen bei der Supinationslage vorne schien es, als ob der Reiz von unten, wo die Hand wirklich lag, schnell in das Bild hinauffahren würde. Die Lokalisation des Bildes vor die Augen wird hartnäckig beibehalten. Es gelingt nur schwer, das Bild tiefer oder

höher oder seitlich vorzustellen. In diesem Fall wird der berührte Finger zunächst vor den Augen gesehen, und von da springt die Vp. in das absichtlich anders lokalisierte Bild, das übrigens auch undeutlicher ist als das Bild vor den Augen. Bei dem Versuche, das Bild seitlich vorzustellen, treten starke Tendenzen zu Augenbewegungen auf. Wenn aber die Vp. den Kopf seitwärts wendet, sieht sie auch das Bild seitlich, also wieder vor den Augen.

Daraus geht hervor, dafs es bei dem Bilde nicht auf die Lage in der Medianebene des Körpers, sondern nur auf die Lage im Sehraum ankommt. Für den Sehraum ist nun die angegebene Lokalisation dadurch ausgezeichnet, dafs sie das Bild in die Gegend bringt, auf welche wir uns am leichtesten konzentrieren, und welche für die aufmerksame Betrachtung am günstigsten ist. Nachzutragen ist noch, dafs der Vp., wenn man von ihr verlangt, die Aufmerksamkeit dahin zu richten, wo die Hände wirklich liegen, dies meist gelingt, und dafs in diesem Falle die Aufmerksamkeit nicht anfangs zu dem Bild vor den Augen zurückgeht. Merkwürdig ist, dafs bei einfacher Reaktion der Reiz stets an seiner richtigen Stelle gefühlt wird, also tiefer als das früher beschriebene Bild bzw. hinter dem Rücken; dabei hat die Vp. kein visuelles Bild der berührten Stelle des Fingers oder der Hand.

Eine so ausgeprägte Lokalisation des visuellen Bildes an die ausgezeichnete Stelle des Sehraumes fand ich bei keiner anderen Vp. Auch absichtlich liefs sie sich nicht durchführen; es bestand immer die Tendenz, das Bild an die richtige Stelle zu verlegen, und die Vpn. gingen bei der Entscheidung häufig im ersten Moment in das richtig lokalisierte Bild zurück.

Anmerkung: Dafs die blofse Berührungsempfindung an die richtige Stelle im Raume lokalisiert wird, während die Vp., wenn sie ein Bild ihrer Hand entwirft, sich nicht an die Lage im Raume kehrt, sondern die für die Betrachtung günstigste Lage wählt, ist sehr ökonomisch. Wenn uns ein Gegenstand berührt, so ist es sehr zweckmäfsig, wenn wir ihn lokalisieren, damit wir unsern Blick auf ihn konzentrieren und irgend welche nötige Bewegungen ausführen können. Hingegen ist dies für die Betrachtung unserer Hand gleichgültig. Wie wir sie, wenn wir sie bei offenen Augen betrachten, in die für das Sehen günstige Stellung bringen, so tut es Vp. Brandt in seinem innerlichen Bild.

Ich will wieder zuerst versuchen, die eigentümliche Lokalisation des Bildes zu erklären, und damit wird sich ähnlich wie

in früheren Fällen von selbst die Erklärung der Reaktionszeiten ergeben. Es fragt sich, wie ist es möglich, dafs sich an die Erregungen der Lagen der Hand vor der Brust und hinter dem Rücken ein Bild in Augenhöhe anschliefst? Die Erklärung ist analog zu der Erklärung einer Täuschung, welche Vp. Jacobs bei der Handkreuzungslage beobachtete (vgl. § 19). Zunächst ist die Annahme entschieden zu verwerfen, dafs die Erregungen, welche die Lage als Lage vor der Brust bzw. hinter dem Rücken charakterisieren, sich an der Reproduktion des anders lokalisierten Bildes beteiligen können; es wäre ganz unverständlich, wie wir im Leben unter normalen Verhältnissen zu einer solchen ganz falschen Assoziation kommen könnten. Die Erscheinung erklärt sich vielmehr so, dafs die genannten Erregungen ohne reproduzierende Wirksamkeit sind, dafs das Bild also an andere Erregungen geknüpft ist, welche aber streng genommen über die Lage nichts aussagen können. An diese Erregungen ist aber doch ein Bild in bestimmter Lage geknüpft, und zwar in der für die Betrachtung vorteilhaftesten Lage. Ähnlich war auch in einigen in § 22 erwähnten Fällen die Hand so gedreht gedacht, dafs sie sich bequem betrachten liefs. Hierin liegt also eine Differenz gegenüber den unrichtig lokalisierten Bildern, welche Vp. Jacobs beobachtet hatte (vgl. § 19). Dafs die Bilder nicht durch die für die besondere Lage vorne und hinten charakteristischen Erregungen reproduziert sein können, ergibt sich vor allem auch aus den objektiven Resultaten der Zeitmessung. Die Reaktionszeiten waren nämlich für die vordere und hintere Lage ungefähr gleich; wenn aber dasselbe Bild in derselben Lage mit gleicher Schnelligkeit reproduziert wird, so besitzt die Annahme, dafs auch die reproduzierenden Erregungen dieselben sind, grofse Wahrscheinlichkeit, umsomehr wenn die Erregungen, durch welche sich die zwei Lagen unterscheiden, von der Art sind, dafs sie verschiedene Reproduktionsstärken erwarten lassen. Das letztere ist nämlich durchaus der Fall, da die vordere Lage sicher geläufiger ist als die hintere. Auch wird sich dies aus den sogleich zu besprechenden Versuche ergeben. So kommen wir von verschiedenen Seiten zu demselben Ergebnis, dafs für die Reproduktion des falschen Bildes die Erregungen, welche für die besonderen Lagen charakteristisch sind, nicht von Einflufs sind.

§ 33. Die Versuche bei analogen Lagen vorne und hinten, welche ich mit den Vpn. Frau Prof. Müller, Dr. Conrad und

Dr. KATZ anstellte, zeigen trotz der manchmal kleinen Zahl der Versuche deutlich das Resultat, dafs die Reaktionszeiten bei der Lage hinter dem Rücken länger sind als bei der vorderen Lage. Tatsächlich war auch das subjektive Verhalten dieser Vpn. ganz verschieden von dem eben beschriebenen Verhalten der Vp. BRANDT. Sie richteten die Aufmerksamkeit bei den Versuchen mit hinten liegender Hand stets nach hinten, die Berührung und die Hand wurden an die wirkliche Stelle lokalisiert, und zwar sahen die genannten Vpn. innerlich so auf ihre Hand hin, wie wenn sie den Kopf nach hinten wenden würden. Tut man dies wirklich und sieht bei offenen Augen auf die hinten z. B. in Pronationslage liegende linke Hand, so sind für den Sehraum die Fingerspitzen nach vorne gerichtet, der Daumen liegt rechts von den anderen Fingern: kurz die Lage der Hand relativ zum Sehraume ist genau dieselbe, wie wenn die Hand vorne in Pronationslage liegen würde und bei normal gewendetem Kopfe betrachtet würde. Dasselbe gilt nun auch von der Lage des Handbildes in dem i n n e r e n Sehraum, der entsteht, wenn ich i n n e r l i c h so nach hinten sehe, wie wenn ich den Kopf nach hinten wenden würde. Man verspürt auch häufig eine Tendenz den Kopf zu drehen, oder beginnt ihn wirklich ein wenig zu drehen. Für diesen innerlichen Sehraum sind also die Fingerspitzen nach vorne gerichtet und der Daumen liegt rechts von den anderen Fingern. Trotzdem weifs die Vp., dafs die ganze Hand hinten liegt.

Neben diesem Falle, wo mit der verschiedenen Lage der Hand eine sehr bedeutende Drehung des inneren Sehraumes verbunden ist, gibt es noch eine andere Betrachtungsweise, bei welcher dieselbe Lage ohne erhebliche Drehung des Sehraumes richtig vorgestellt wird. Ich kann, um wieder von der Betrachtung mit offenen Augen auszugehen, auf die hinten liegende Hand auch in der Weise hinsehen, dafs ich den Kopf etwas nach vorne abwärts wende, und aus dieser Lage schief nach hinten auf die Hand hinblicke. (Die letztere mufs, um nicht verdeckt zu sein, tiefer und ein wenig nach aufsen gehalten werden.) In diesem Fall sind für meinen Sehraum die Fingerspitzen hinten, der Daumen bei Pronationslage der linken Hand links. In derselben Weise kann ich auch i n n e r l i c h auf die hinten liegende Hand hinsehen. Man erkennt, dafs jetzt die Lage der Hand im inneren Sehraum eine ganz andere ist als in dem

früheren Falle. Hingegen ist die Lage des inneren Sehraumes von der Lage, die er bei Pronationslage vor der Brust einnehmen wird, nicht viel verschieden. Die Drehung ist viel geringer und hat eine ganz andere Richtung als im früheren Falle.

Ob die erste oder zweite Betrachtungsweise eingeschlagen wird, ändert nichts daran, wie es zu erklären ist, daſs bei der hinteren Lage die Reaktionszeiten länger sind. Durch eine Täuschung, welche Vp. Frau Prof. MÜLLER beobachtete, ist der Weg der Erklärung vorgezeichnet. Die Täuschung bestand darin, daſs bei der Supinationslage hinten, der berührte Finger im ersten Moment nicht hinten sondern in Pronationslage vorne gesehen wurde. Nach der Analogie früherer Erklärungen ist die Täuschung in folgender Weise zu erklären: Im ersten Moment, als das falsche Bild reproduziert wurde, waren die Erregungen, welche der Lage hinten entsprechen, noch nicht wirksam. Durch Erregungen a u ſ s e r den eben genannten wurde das Bild in Pronationslage vorne reproduziert; und diese Reproduktion des Bildes vor der Brust hat eine kürzere Reproduktionszeit als die des richtigen Bildes. Bei der Lage vor der Brust aber, führt die Reproduktion desselben Bildes, bevor noch die für die Lage spezifischen Erregungen reproduzierend wirken, zu dem r i c h t i g e n Bilde, so daſs dieses schneller reproduziert werden kann als bei der Lage hinten. Wenn es nun auch bei der letztgenannten Lage gewöhnlich nicht zu einer klaren Reproduktion des falschen Bildes kommt, so wird doch durch die reproduktive Hemmung die Reaktion bei der hinteren Lage länger ausfallen müssen; ferner ist, wie die Täuschung lehrt, die Reproduktionszeit des falschen Bildes bei der hinteren Lage und daher ebenso die des richtigen Bildes bei der vorderen Lage an und für sich kürzer als die des richtigen Bildes hinter dem Rücken.

Es muſs betont werden, daſs die Vp., die in Supinationslage hinter dem Rücken befindliche Hand, nicht wie Vp. BRANDT, vorne wieder in Supinationslage vorstellte sondern in Pronationslage, und daſs daher in diesem Falle die Supinationslage hinten mit der Pronationslage vorne zu vergleichen war. Wenn man jene vordere Lage als die zu einer hinteren Lage „analoge“ bezeichnet, in welcher die Hand vorgestellt wird, wenn sie fälschlich nach vorne lokalisiert wird, so ist für diese Vp. die Pronationslage vor der Brust der Supinationslage hinter dem Rücken analog.

Würde eine Vp. sich auf beide oben angegebenen Betrachtungsweisen einstellen können, so könnte man die in beiden Fällen erhaltenen Reaktionszeiten miteinander vergleichen und würde Aufschlufs erhalten über die Frage, ob sich an die Erregungen der Lage hinten leichter ein Bild anschliefst, welches eine Drehung des Sehraumes bedingt, während die Lage innerhalb des Sehraumes dieselbe ist wie bei Pronationslage vorne, oder jenes Bild, welches eine geringe Drehung des Sehraumes bedingt, hingegen innerhalb des Sehraumes entschieden abnormaler liegt. Nebenbei bemerkt, wird im ersteren Falle, bei Drehung des inneren Sehraumes, die wirkliche Lage des Kopfes und der Augen auch eine Rolle spielen und der inneren Vorstellung entgegenwirken. Dies kann man daraus entnehmen, dafs häufig eine Tendenz auftritt, den Kopf oder die Augen so zu bewegen, dafs der innere Sehraum mit dem äufseren zusammen fallen würde.

Die Lagen hinter dem Rücken bedürfen noch einer genaueren Untersuchung, welche auf das innere Verhalten mehr Rücksicht nimmt, als ich es bei den genannten Reihen getan habe.

Wesentlich neue Fragen erheben sich, wenn man die Reaktionszeiten bei abnormaler Kopflage oder z. B. in liegender Stellung des ganzen Körpers untersucht. Solche Fragen sind z. B.: Sind die Reaktionszeiten bei Pronationslage hinten und nach hinten gedrehtem Kopfe dieselben wie bei normaler Kopfhaltung und Pronationslage vor der Brust? Spielt in liegender Körperstellung die Lage relativ zu dem objektiven Raume, in Beziehung auf welchen der Körper als liegend bezeichnet wird, für die Betrachtungsweise der Hände eine Rolle? Usw.

Dritter Abschnitt.

Verschiedenes.

§ 34. Kriterien für die Fingerbestimmung und für die Handbestimmung.

In den vorstehenden Paragraphen versuchte ich, soweit es möglich war, zu eruieren, welche Vorstellungen unter den verschiedenen Umständen reproduzuiert werden, an welche Vorstellungen oder Erregungen sie sich anschliefsen, und welche Reproduktionen schneller, welche langsamer wirken. Natürlich gelten die erhaltenen Resultate nur für die jeweiligen besonderen Umstände. Ferner möchte ich besonders betonen, dafs ich die

Assoziationen und Reproduktionen, so wie sie im täglichen Leben bestehen, finden wollte und darum die Reihen so kurz als möglich nahm. Stellt man längere Versuchsreihen an, so werden natürlich gewisse Assoziationen sehr gestärkt, andere geschwächt; man erfährt dann aber nicht, wie die Dinge unter den normalen Verhältnissen des Lebens, sondern wie sie nach der künstlichen Beeinflussung der Assoziationen infolge der vielen Versuche liegen.

Jene reproduzierten Vorstellungen, welche hinreichen, um eine richtige oder falsche Entscheidung über die Finger oder über die Hand herbeizuführen, kann man als Kriterien für die Finger- bzw. Handbestimmung bezeichnen, ohne dafs damit behauptet werden soll, dafs sie subjektiv stets den Eindruck von Kriterien machen müfsten. Wir haben bisher unter verschiedenen Umständen und bei verschiedenen Vpn. verschiedene solche Kriterien beobachten können. Ich will nun die früher zerstreut angegebenen Kriterien hier zusammen zu stellen.

Für die Fingerbestimmung wurden, wenn man die Versuche bei allen Lagen zusammennimmt, folgende Kriterien benützt:

a) Lage des Fingers in der Fingerreihe bei bestimmter Lage der letzteren. Ein Beispiel hierfür bildet die Täuschung, dafs bei der Lage ɤ horiz. der berührte kleine Finger für den Daumen gehalten wird, weil er oben liegt. Dafs er oben liegt, ist das Kriterium für seine Bestimmung. Wenn er aber als oben liegend erkannt wird, so ist seine Lage relativ zu den anderen Fingern erkannt, und zwar ist speziell erkannt, dafs er höher liegt als die anderen Finger; es kommt gerade darauf an, dafs nicht blofs erkannt wird, dafs der Finger z. B. als der neben dem Goldfinger liegende Randfinger erkannt wird, sondern dafs er der oben liegende Randfinger ist. Die relative Lage in der Fingerreihe bei einer bestimmten Lage der letzteren bildet also das Kriterium.

b) Lage des Fingers in der Fingerreihe ohne Beachtung der Lage der letzteren. Dieses Kriterium wurde nicht ausdrücklich zu Protokoll gegeben, jedoch glaube ich, dafs es wiederholt angewendet worden ist. Ich führe es jedenfalls als mögliches Kriterium an. Sicher wäre es dann vorhanden, wenn aus der Lage in der Fingerreihe auf den Finger geschlossen würde, bevor die Lokalisation der letzteren im Raume erkannt ist. Solche Fälle sind gewifs als möglich anzunehmen. Vp. Baade

wufste einmal bei der MÜLLERschen Stellung nicht, ob der berührte kleine Finger zu- oder abgewendet sei; ebenso könnte auch erkannt sein, dafs der berührte Finger neben dem Daumen liegt, ohne dafs die Vp. weifs, ob er vor oder hinter, rechts oder links von demselben sei.

c) Spezifisches visuelles Bild des Fingers. Aus einer Reihe von Beobachtungen visueller Vpn. geht hervor, dafs der Finger auch an seinem besonderen visuellen Bild erkannt werden kann. Vp. Prof. MÜLLER z. B. gab dies wiederholt an; auch Vp. DITTMERS gab an, dafs die Spitzen des 2 und 4 im visuellen Bilde verschieden seien, der Zeigefinger sei gegen die Spitze zu schmäler, der Ringfinger gleich breit.

d) Spezifisches Fingergefühl. Für dieses Kriterium habe ich in § 26 Beispiele beschrieben und Fälle angeführt, in welchen die bisher erwähnten räumlichen Kriterien nicht vorhanden sein konnten, woraus sich die Notwendigkeit irgend eines unräumlichen Kriteriums ergibt.

Anmerkung: Ich hatte gehofft, dafs sich aus den Lagen, in welchen die Stellung der Finger relativ zur Hand in ähnlicher Weise variiert ist wie bei dem aristotelischen Versuch, und welche ich kurz als „Fingerlagen" bezeichnen möchte, Aufschlufs über die Fingerbestimmung gewinnen lassen werde. Allein die Versuche, welche ich bei diesen Lagen angestellt hatte, lieferten kein Ergebnis. Vielleicht war der Umstand ungünstig, dafs die Vpn. über die Lage ihrer Finger sich nur schlecht und mühsam Rechenschaft geben konnten, und somit vorwiegend auf das spezifische Fingergefühl angewiesen waren. Die Reaktionszeiten waren für jeden Finger bei den verschiedenen Lagen ungefähr dieselben. Vielleicht hat bei Bestimmung des Zeigefingers das Kriterium mitgespielt, dafs er bei der Pronationslage häufig über die anderen Finger emporgestreckt ist. Bei einer Lage, in welcher der Mittelfinger in dieser Weise emporgestreckt war, wurde er nämlich für den Zeigefinger gehalten. Jedoch ist die relative Zahl der Täuschungen zu gering, um hierüber Sicheres zu behaupten.

Ähnlich wie für die Fingerbestimmung gibt es auch für die Handbestimmung sowohl räumliche wie auch unräumliche, taktile Kriterien; ich konnte bei allen Versuchen zusammengenommen folgende 6 Kriterien beobachten:

a) Lage auf der rechten oder linken Seite. Bei der Handkreuzung kam die Täuschung vor, dafs die rechts liegende Berührungsstelle einen Moment zur rechten Hand gerechnet wurde, dafs die Vp. einen Moment glaubte, die Hand setze sich zum rechten Arm fort. Die Lage auf der rechten Seite rief also die Vorstellung der rechten Hand hervor. In den Fällen, in welchen

sich an die Lokalisation nach rechts oder links ganz automatisch das bloſse Wort rechts oder links anschlieſst, kann die Lokalisation nicht als Kriterium der Handbestimmung bezeichnet werden.

b) Richtung des Fingers zum Arm. Da die Finger gewöhnlich so liegen, daſs ihre geradlinige Fortsetzung zu dem Arme führt, zu welchem sie tatsächlich gehören, so wird die Hand häufig nach der bloſsen Richtung des Fingers bestimmt. Ein Beispiel für die Verwendung dieses Kriteriums ist die „japanische Illusion“ (vgl. § 28 am Ende).

c) Räumliche Fortsetzung der Finger und der Hand zum Arme. Bei der MÜLLERschen Stellung ist es häufig notwendig, die Hand bis zum Unterarm zu verfolgen, ebenso bei bloſser Hand- und bloſser Fingerkreuzung. Je nachdem das visuelle Bild zum links oder rechts liegenden Unterarm führt, wird die Berührung als der rechten oder linken Hand angehörig beurteilt. Von den räumlichen Kriterien ist dieses das vollkommendste, aber auch das umständlichste. Bei dem Verfolgen muſs die Fortsetzung nicht durch ein visuelles Bild gegeben sein, sondern es kann auch wie bei Vp. Dr. KATZ ein leises Gefühl zum Arm laufen.

d) Spezifisches visuelles Bild des Armes. Ein verschiedenes visuelles Bild der beiden Hände beobachtete nur die Vp. Dr. KATZ. Die linke Hand erscheint ihr heller und schmäler, die rechte Hand dunkler und dicker; ferner ist die erstere durch eine Narbe am Daumen charakterisiert. Es ist aber sehr unwahrscheinlich, daſs die Hand nach diesem Kriterium bestimmt wurde, vielmehr verfolgt auch Dr. KATZ stets die Hand zum Arm.

e) Eindruck der Zusammengehörigkeit der Berührungsempfindung und eines Gefühls im Arm. Dieses Kriterium, welches z. B. von Vp. BAADE gebraucht wurde, besteht darin, daſs, auch wenn die räumliche Fortsetzung der Hand zum Arm nicht erkannt wird, dennoch ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen der Berührungsempfindung und einem leisen Gefühl im Arm gespürt wird. Hier, wie auch im Fall, wo von der Hand ein leises Gefühl zum Arm läuft und wo die Fortsetzung der Hand vermittels dieses Gefühls lokalisiert wird (Kriterium c), handelt es sich wahrscheinlich um kinästhetische Empfindungen, welche durch schwache Innervation entstehen.

f) Spezifisches Handgefühl. Wie ein spezifisches Fingergefühl so gibt es auch ein spezifisches Handgefühl, durch

welches die Hand erkannt wird, auch wenn keine Lokalisation und Verfolgung derselben stattgefunden hat. Die Belege für die Existenz dieses Kriterium sind in § 31 angeführt.

§ 35. Absolute und relative visuelle Lokalisation.

Bei der MÜLLERschen Stellung kann, wie im § 26 gezeigt ist, deutlicher als bei anderen Lagen der Fall beobachtet werden, dafs die Berührungsstelle allein lokalisiert ist, bevor noch die Lage des Fingers und der Hand vorgestellt wird, und bevor diese selbst erkannt sind. In dieser Lokalisation der Berührungsstelle im Raume, die ich als „absolute Lokalisation" bezeichnen will, liegt scheinbar etwas Paradoxes: Um die Lage der Berührungsstelle zu wissen, müssen wir von der Lage des Fingers, der Hand, des Armes usw. und von der Lage der Berührungsstelle auf dem Finger irgendwie unterrichtet sein; wir erfahren jedoch, dafs alle diese Lagevorstellungen tatsächlich nicht reproduziert werden, ja dafs sie sich oft nur mit Mühe herbeiführen lassen. In der Tat genügt es, dafs blofs die physiologischen Erregungen, welche der Lage des Fingers, der Hand, des Armes usw. und der Lage der Berührungsstelle auf dem Finger entsprechen, sich an der Reproduktion der Lage der letzteren im Raume beteiligen. Sie brauchen aber nicht alle genannten Lagevorstellungen zu reproduzieren. Auf diese Weise wird also die scheinbar paradoxe absolute Lokalisation leicht erklärbar. Dieselbe Erscheinung und dieselbe Erklärung findet sich übrigens schon bei SPEARMAN in seiner früher erwähnten, sehr wertvollen Abhandlung. Durch meine Versuche kommt nur der neue Punkt hinzu, dafs die Glieder, deren Lage zur Kenntnis der absoluten Lokalisation irgendwie gegeben sein mufs, nicht nur tatsächlich nicht visuell vorgestellt werden, sondern in einigen Fällen gar nicht vorgestellt werden können. SPEARMAN bezeichnet das, was ich als absolute Lokalisation bezeichne, als reine „thereness" (Hier-heit).

Im Gegensatz zu dieser Lokalisation einer Berührungsstelle im Raume steht eine andere Lokalisationsart relativ zu einer gröfseren oder kleineren Körperpartie z. B. relativ zu einem Fingerbilde. Es ist der Fall denkbar, dafs das ganze Fingerbild unbestimmt lokalisiert ist, dafs seine Lage im objektiven Raume nicht angegeben werden kann, dafs hingegen die Berührungsstelle relativ zu dem Fingerbild deutlich lokalisiert ist.

Dann bestünde die in Rede stehende Art der Lokalisation ohne absolute Lokalisation. Ich will diese Art der Lokalisation kurz als „relative Lokalisation“ bezeichnen. Deutlicher, aber schleppend wären die Ausdrücke „Lokalisation im Raume“ für „absolute Lokalisation“ und „Lokalisation auf dem Körper“ für „relative Lokalisation“. Bei SPEARMAN entspricht unserer relativen Lokalisation die Lokalisation durch „images“.

Die absolute Lokalisation hat aufserordentlich grofse Bedeutung für das tägliche Leben. Wir gebrauchen den Tastsinn grofsenteils, um uns über die räumlichen Verhältnisse der Dinge, welche wir betasten oder die uns berühren, zu orientieren. Man denke sich, dafs wir, um z. B. die Lage und Form eines Gegenstandes zu erkennen, erst die Lage unserer Finger, Hände, Arme usw. vorstellen müfsten; wie kompliziert wäre dann der Erkennungsvorgang, und wie schnell führt uns andererseits die absolute Lokalisation zum Ziele! Da diese nun wegen ihrer grofsen Wichtigkeit im Leben offenbar sehr viel geübt wird, so erklärt es sich, dafs sie sich schnell einstellt, selbst bei sehr komplizierten Lagen. Es erklärt sich ferner, dafs die absolute Lokalisation sich auch in Fällen aufdrängt, wo sie zur Entscheidung nichts hilft (vgl. § 19), oder wo sie derselben sogar hinderlich ist, wie wir bei der Besprechung der Handbestimmung im Falle der Handkreuzungslage gesehen haben (vgl. § 29).

Bevor ich die Arbeit schliefse, möchte ich allen meinen Vpn. für die grofse Mühe und Sorgfalt, die sie bei den Versuchen aufwendeten, und durch die sie die Arbeit erst ermöglichten, bestens danken. Vor allem aber erlaube ich mir, meinen hochverehrten Lehrern, den Herren Professoren Dr. G. E. MÜLLER und Dr. Fz. HILLEBRAND für die mannigfaltigen Ratschläge, die sie mir bei der Ausarbeitung der Abhandlung zu erteilen die Freundlichkeit hatten, an dieser Stelle meinen wärmsten Dank auszusprechen.

(Eingegangen am 10. März 1906.)

(Aus der physikalischen Abteilung des physiologischen Instituts zu Berlin.)

Fortgesetzte Untersuchungen zur Symptomatologie und Diagnostik der angeborenen Störungen des Farbensinns.

Von

Professor W. A. Nagel in Berlin.

1. Einleitung.

Die Untersuchungen zur Diagnostik, Symptomatologie und Statistik der angeborenen Farbenblindheit, über die ich im Jahre 1898 im Archiv für Augenheilkunde berichtete, bildeten den Ausgangspunkt für eine Reihe von ähnlichen Untersuchungen, die in den letzten Jahren teils von mir, teils von meinen Mitarbeitern ausgeführt worden sind. Das Hauptziel, das ich mir hierbei gesteckt hatte, ist schon in den Schlufszeilen meiner Arbeit aus dem Jahre 1898 ausgedrückt: die Entscheidung der Frage, was von den sog. „Farbenschwachen" zu halten sei und speziell, ob diese in praktischer Hinsicht den Normalen oder den Farbenblinden gleich bzw. nahe zu stellen seien. Den damaligen Versuchen in dieser Richtung hatte ich ja ausdrücklich nur den Wert orientierender Vorversuche beigemessen. Das reiche Material an Versuchspersonen hat denn auch meine Auffassung neuerdings nicht unwesentlich modifiziert. Von den im physiologischen Institut zu Berlin in den letzten Jahren gewonnenen Ergebnissen ist einiges schon veröffentlicht.[1] Einen

[1] W. Nagel: Zur Differentialdiagnostik der angeborenen Farbensinnsstörungen. Berl. ophthalmol. Gesellsch. 19. Nov. 1903; *Zentralblatt f. prakt. Augenheilk.* 1904.

— Einige Bemerkungen über den Typenunterschied unter den Farbentüchtigen. *Engelmanns Arch. f. Physiol.* 1904. S. 560.

Teil der Ergebnisse möchte ich hier mitteilen, wobei ich gelegentlich auf das zurückgreife, was an anderen Stellen schon kurz veröffentlicht ist, in der Hauptsache aber über diejenigen Punkte berichte, deren Besprechung bisher zu kurz gekommen ist.

Wie die Untersuchungen einen doppelten Zweck verfolgten, einen praktischen und einen wissenschaftlich-theoretischen, so zerfallen auch die Ergebnisse in zwei entsprechende Gruppen.

Wenn in der nachstehenden Darstellung praktische und theoretische Probleme nicht immer reinlich gesondert erscheinen, so liegt das daran, dafs für die Bestrebungen auf dem Gebiet der Diagnostik der Farbensinnsstörungen neue symptomatische Befunde und theoretische Erwägungen mafsgebend waren, deren Erwähnung bei den Erörterungen über das Methodische unerläfslich schien und dafs andererseits die zur Gewinnung diagnostischer Erfahrungen unternommenen Untersuchungen wieder symptomatische Befunde ergaben, die zum Teil überraschend und neu waren. Das Hauptgewicht habe ich im folgenden auf die Untersuchungsmethodik gelegt, weil ich in dieser zu einem gewissen, wenn auch nur vorläufigen, Abschlufs gekommen bin, während sich in theoretischer Hinsicht zwar manche neue Fragen ergeben haben, auch manches nicht unwichtige an Tatsachen übermittelt wurde, von einer Klarstellung des in Frage kommenden Gebiets aber noch entfernt nicht zu reden ist.

Der Hauptzweck der vorliegenden Abhandlung ist die Darlegung der Gründe, aus denen ich der Eisenbahnverwaltung sowie den Medizinalbehörden der Armee und Marine gegenüber die Einführung eines neuen Untersuchungsverfahren auf Farbentüchtigkeit befürwortet habe.

In meiner Publikation vom Jahre 1898 war ich von der Tat-

W. Nagel: Die Diagnose der anomalen trichromatischen Systeme. *Klin. Monatsbl. f. Augenheilk.* **42**, I, 366.

H. Feilchenfeld: Sind die anomalen Trichromaten tauglich zum Eisenbahndienst? *Arch. f. Augenheilk.* **50**, S. 48.

A. Guttmann: Untersuchungen an sog. Farbenschwachen. Sitzungsbericht internat. Psych.-Kongrefs. Giefsen 1904.

W. Nagel: Was ergeben die neueren physiologischen Erfahrungen über Anomalien des Farbensinns bezüglich der zur praktischen Prüfung geeigneten Untersuchungsmethoden? Ärztl. Sachverst. Zeitg. 1904. Nr. 9.

— Dichromatische Fovea, trichromatische Peripherie. *Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane* **39**, S. 93. 1905.

sache ausgegangen, dafs die Diagnose der Farbenblindheit nach den damals üblichen Methoden an Sicherheit zu wünschen übrig liefs. Ich wurde dadurch zur Ausbildung zweier neuer Methoden der Farbensinnsprüfung geführt, die mir von den Fehlern der anderen frei zu sein schienen. Beide Methoden haben eine eigentlich über Erwarten schnelle und weite Verbreitung gefunden und sind, soweit aus der Literatur ersichtlich, von den Fachgenossen wohlwollend aufgenommen worden. Ich habe es mir angelegen sein lassen, die beiden Methoden in stetem Vergleich mit den besten anderen Methoden fortwährend weiter zu erproben und dabei festzustellen, wie die verschiedenen Anomalien des Farbensinns auf sie reagieren. Namentlich in den letzten $3^1/_2$ Jahren bot sich mir in Berlin dazu ausgiebigste Gelegenheit, sowohl bei verschiedenen Massenuntersuchungen, wie auch in der Untersuchung ungewöhnlicher Fälle, die mir von verschiedenen Kollegen in dankenswertester Weise zugeführt wurden.

Ein Anlafs zu besonders eingehender Beschäftigung mit der Frage der diagnostischen Methodik ergab sich sodann im Winter 1903/1904 dadurch, dafs die Kgl. preufsische Eisenbahnverwaltung beschlofs, das bisher verwendete Holmgrensche Verfahren fallen zu lassen und durch ein anderes zu ersetzen. Die Anregung dazu war von anderer Seite gekommen und es war eine Kommission eingesetzt worden, die ein geeigneteres Verfahren auswählen sollte. Um dieselbe Zeit hielt ich im Berliner bahnärztlichen Verein einen Vortrag, in welchem ich die (weiter unten des näheren zu besprechende) Frage erörterte, ob nicht die anomalen Trichromaten in ähnlicher Weise wie die Dichromaten für den Signaldienst in Marine und Eisenbahn gefährlich seien. Ich mufste diese Frage auf Grund meiner bisherigen Beobachtungen bejahen.

Immerhin wollte ich nicht soweit gehen, diese Anschauung dem Ministerium des Verkehrswesens gegenüber mit Bestimmtheit zu vertreten, da folgenschwere Entschliefsungen durch ein solches Gutachten herbeigeführt werden konnten. Ich verwendete ein halbes Jahr vorzugsweise zur Prüfung der Frage, wie sich die anomalen Trichromaten unter solchen Bedingungen verhalten, wie sie beim Eisenbahn- und Marinesignaldienst in Betracht kommen, wurde aber nur in meiner Anschauung bestärkt. Ich trat nun mit Bestimmtheit dafür ein, dafs die Anomalen, zum mindesten der allergröfste Teil derselben, den

Farbenblinden praktisch gleichzusetzen seien, und das Ministerium, durch meine Darlegungen und die von der Kgl. Eisenbahndirektion Berlin aufs wirksamste unterstützten Demonstrationen überzeugt, beschlofs, Farbenblinde und Anomale in eine einzige Gruppe der „Farbenuntüchtigen" zusammenzufassen und samt und sonders vom Fahrdienst und ähnlichen verantwortungsvollen Stellungen im Eisenbahndienst auszuschliefsen.

Damit erhob sich aber die grofse Schwierigkeit der sicheren Diagnose. Bisher hatte man wohl für die Diagnose der Farbenblindheit brauchbare Methoden geschaffen, auf die Anomalen aber das Augenmerk nicht gerichtet. Diese wurden vielmehr nur im Laboratorium mit komplizierten Spektralfarben-Mischapparaten diagnostiziert. Es ist ja allerdings, wie ich unlängst mitgeteilt habe [1], auch möglich, mit meinem zur Diagnose der Farbenblindheit bestimmten Apparat die anomalen Trichromaten zu erkennen. Ich habe jedoch die Verwendung dieses Apparates in der Hand aller Bahnärzte nie für empfehlenswert gehalten, sondern glaube, dafs er nur in der Hand des erfahrenen Spezialisten gute Dienste leistet.

Meine Farbentafeln in der 1898 (bei J. F. Bergmann, Wiesbaden) erschienenen Ausgabe sind nur zur Diagnose der typischen Dichromaten bestimmt, Diagnostizierung der Anomalen mit ihrer Hilfe war nicht in Aussicht genommen.

Unter diesen Umständen handelte es sich also darum, eine neue Methode zu finden, die in einfacher Weise gestattet, sowohl die Dichromaten wie die anomalen Trichromaten zu diagnostizieren. Ich habe meine Farbentafeln durch Abänderung einzelner und Hinzufügung neuer so ergänzt, dafs sie diesen Zweck erfüllen. Nachdem sie an einem hinreichend grofsen Material durch mich und späterhin durch 60 dazu seitens der Eisenbahnverwaltung bestimmte Bahnärzte erprobt worden waren, entschlofs sich das Ministerium, sie im Bereiche der preufsischen Staatseisenbahnen an Stelle des Holmgrenschen Verfahrens einzuführen. Zur selben Zeit waren bei der preufsischen Eisenbahnbrigade Versuche mit den Tafeln gemacht worden, die zur Einführung bei dieser Truppe und zur Ausstattung sämtlicher Lazarette mit diesen Tafeln führten. Bei der Kaiserlichen Marine folgten entsprechende Versuche und führten im April ebenfalls zu ihrer Einführung.

[1] *Klin. Monatsbl. f. Augenheilk.* 366. 1904.

2. Welche Anomalien des Farbensinnes bedingen Untauglichkeit zum Eisenbahn- und Marinedienst?

Die deutschen Staatseisenbahnverwaltungen und die Behörden der Kaiserlichen Marine, wie auch die entsprechenden Behörden in anderen Kulturstaaten stehen seit geraumer Zeit auf dem Standpunkt, dafs „Farbenblindheit" die Anstellung in gewissen Berufszweigen im Bereich der genannten Verwaltungen ausschliefst. Es ist wohl nicht ganz überflüssig, auf die Frage der Berechtigung dieser Mafsregel hier mit wenigen Worten einzugehen. Jeder, der mit dem Sehen der Farbenblinden vertraut ist, wird keinen Augenblick im Zweifel sein, dafs, solange farbige Signale bei Eisenbahn und Marine verwendet werden müssen, der absolute Ausschlufs aller Farbenblinden von denjenigen Dienstzweigen gefordert werden mufs, bei denen die Erkennung farbiger Lichtsignale, wenn auch nur gelegentlich, in Frage kommt. Dafs typische Dichromaten, denen in mäfsigen Entfernungen abwechselnd rote, grüne und sog. weifse Laternenlichter gezeigt werden, meistens „die Farbe richtig erkennen", wie man zuweilen versichern hört, soll keinen Augenblick bezweifelt werden. Andererseits ist es aber auch unumstöfsliche Tatsache, dafs bei genügend weit entfernten oder lichtschwachen Laternenlichtern kein Dichromat imstande ist, die Farbenunterscheidungen zu machen, die der Trichromat ceteris paribus ohne weiteres macht. Das wesentlichste Moment ist der kleine Gesichtswinkel. Eine der üblichen Eisenbahnsignallaternen erscheint auf 100 m Entfernung nur noch unter dem Winkel von $^1/_{10}{}^0$, wenn man die ganze farbige Scheibe als erleuchtet denkt, unter dem Winkel von höchstens $^1/_{100}{}^0$, wenn man nur die leuchtende Flamme als Objekt rechnet. Die Signale müssen aber auf etwa die 10fache Entfernung, also bei 10mal kleinerem Gesichtswinkel noch unterschieden werden. Das leistet (klares Wetter vorausgesetzt) ein farbentüchtiges Auge bei der üblichen Lampenhelligkeit ohne weiteres, nicht aber das farbenblinde, das die rote, grüne und „weifse" Laterne nur an sekundären Merkmalen (Helligkeits- und Sättigungsverschiedenen, ungleich scharfe Begrenzung des Bildes etc.) unterscheidet. Auf ein weiteres wichtiges Moment wird weiter unten einzugehen sein.[1]

---

[1] Die Angabe, die man gelegentlich hört und liest, die farbenblinden Eisenbahnbeamten seien imstande, mit voller Sicherheit rote, grüne und gelbe („farblose" oder „weifse" Laternen zu unterscheiden, beruhen, soweit

Man hört nun allerdings nicht selten in den beteiligten Kreisen die Behauptung aufstellen, die Untersuchung auf Farbenblindheit habe deshalb keine grofse Bedeutung, weil tatsächlich niemals Unglücksfälle infolge mangelhaften Farbensinns von Eisenbahnangestellten oder Seeleuten vorkämen. Man denkt heutzutage nicht mehr daran, dafs ein Eisenbahnunglück in Schweden es war, das seinerzeit HOLMGREN veranlafste, so energisch und erfolgreich für die obligatorische Farbensinnsprüfung einzutreten. Auch ein durch Farbenblindheit herbeigeführtes Schiffsunglück wurde damals bekannt. Wie viele Eisenbahn- und Schiffsunfälle in neuerer Zeit auf gleicher Ursache beruhen, entzieht sich unserer Beurteilung. Wer die betreffenden Zeitungsnachrichten längere Zeit hindurch verfolgt, wie ich es getan habe, findet doch nicht ganz selten „unaufgeklärte“ Fälle, bei denen man sehr geneigt sein mufs, an Farbensinnsstörung als Ursache zu denken. Erst vor wenigen Tagen las ich einen Bericht über ein solches Unglück, das (wie die meisten in Betracht kommenden) im Dunkel, abends 8 Uhr, passierte und nicht völlig aufgeklärt wurde. „Lokomotivführer und Heizer des Zuges wurden getötet“ heifst es hier, wie in vielen ähnlichen Fällen, es ist m. a. W. die Möglichkeit genommen, nachträglich festzustellen, ob eine Farbensinnsstörung vorlag.

Bei der Mehrzahl der Zusammenstöfse und Entgleisungen ist das Lokomotivpersonal besonders gefährdet, Lokomotivführer oder Heizer oder alle beide verlieren dabei das Leben.

Warum hat man in solchen unaufgeklärten Fällen nicht an Farbenblindheit der Beamten gedacht? Die Antwort ist naheliegend, sie befreit die Eisenbahnverwaltung von jeglicher Schuld: Bei den Akten der betreffenden Beamten liegen die Zeugnisse

---

mir bekannt ist, nicht auf systematischen einwandsfreien Versuchen. Ich, der ich selbst Dichromat bin (ein Deuteranop oder sog. Grünblinder) unterscheide auf grofsen Bahnhöfen nebeneinanderstehende rote und farblose Lichter mit voller Sicherheit, wenn die Lampen nicht zu weit entfernt sind (etwa 100 m). Bei Lampen am Ende eines langgestreckten Bahnhofs, etwa in 1/2 km Entfernung, irre ich mich aber aufserordentlich häufig. Es ist dann ein reines Raten. Bei zwei nebeneinanderstehenden farblosen Lichtern, von denen das eine merklich schwächer ist als das andere, glaube ich oft mit Bestimmtheit das erstere als rot oder grün zu erkennen; aber es ist ein blofser Zufall, wenn ich richtig rate. Die Unterscheidung grüner und weifser Laternen ist sogar auf wesentlich geringere Distanz sehr unsicher.

von so und so vielen Ärzten (Bahnärzten und Bahnaugenärzten), die alle bestätigen, dafs die Angestellten auf der Lokomotive nicht farbenblind waren. Bei einem Angestellten, der es zum Lokomotivführer gebracht hat, liegen solche Zeugnisse in der Regel 4 bis 5 vor, weil er bei den regelmäfsigen Revisionen immer wieder geprüft wurde, auch bei jeder Beförderung.

Für die Eisenbahnverwaltung müssen diese Zeugnisse mafsgebend sein, sie müfste sich auf die ihr vorgelegten Gutachten verlassen können. Aber dies war nun eben bisher vielfach leider nicht der Fall; im Bewufstsein dieser Tatsache hat ja auch die Eisenbahnverwaltung die Neuordnung der Farbensinnsprüfung eingeleitet.

Im Laufe der letzten $1^1/_2$ Jahre sind mir mindestens 12 Personen zur Untersuchung zugeführt worden, die bei der Eisenbahn in wichtigen Stellungen (als Lokomotivführer, Heizer, Stationsassistenten, Weichenwärter) tätig waren, alle 4 bis 5mal amtlich auf Farbenunterscheidungsvermögen geprüft und nicht beanstandet worden waren, und nichtsdestoweniger typische Dichromaten (Rot-Grünblinde) waren.

Unter etwa 300 Eisenbahnbediensteten aller Dienstzweige, die alle mindestens einmal untersucht worden waren (fast alle mehrmals von verschiedenen Ärzten), fand sich der zufällig ganz ungewöhnlich hohe Satz von 5 % typisch Farbenblinden.

Es ist also — darauf kommt es mir hier wesentlich an — daraus, dafs in den Personalakten eines Lokomotivführers mehrere günstige Zeugnisse über seinen Farbensinn stehen, bei dem jetzigen Stande der Untersuchung nicht mit der wünschenswerten Sicherheit zu schliefsen, dafs der Mann nun auch wirklich nicht farbenblind ist. Dazu kommt noch ein weiterer Umstand. Wie ich schon bei anderer Gelegenheit betont habe und weiter unten näher motiviere, mufs ich die „anomalen Trichromaten“ für ebensowenig geeignet zum Erkennen farbiger Signale halten, wie die Dichromaten. Sie aber werden mittels der Wollprobe nur ganz unsicher erkannt, und jedenfalls war bisher jeder Bahnarzt in seinem vollen Rechte, der diese Personen für „nicht farbenblind“ erklärte. Darüber, welche Verstöfse beim Ausführen der Wollprobe der Untersuchten als untauglich zum Bahn- und Marinedienst erscheinen lassen sollten, lagen amtliche Bestimmungen nicht vor. Es dürfte also ein Arzt, der mit Sicher-

heit feststellen konnte, dafs „Farbenblindheit“ nicht vorläge, mit Fug und Recht den Mann für tauglich erklären.

Derartige Erwägungen wurden vor einigen Jahren besonders nahegelegt, als die „Primuskatastrophe“ bei Hamburg so grofses Aufsehen erregte. Der Zusammenstofs der beiden Dampfer „Primus“ und „Hansa“ war um ein beträchtliches verständlicher, wenn einer der beiden Kapitäne farbenblind war oder zufolge einer anderen Anomalie seines Farbensinns die rote und die grüne Positionslaterne verwechseln konnte. Tatsächlich hatte der eine Kapitän angegeben, eine andere Farbe gesehen zu haben, als sie nach Lage der Dinge sichtbar sein mufste. Bei der nachträglichen Prüfung wurde aber der Farbensinn beider Kapitäne als „normal“ befunden, wie die Zeitungen berichteten.

Es wird nach dem oben Gesagten begreiflich erscheinen, wenn man an der Sicherheit dieser Diagnose zweifelt. Der betreffende Kapitän konnte ein anomaler Trichromat sein, ja es wäre nicht einmal so sehr überraschend, wenn jetzt noch nachgewiesen würde, dafs er farbenblind war.

Ich möchte mit diesen Ausführungen zunächst nicht mehr beweisen, als dafs man nicht berechtigt ist, an der Verschuldung von Eisenbahn- und Schiffsunglücken durch Farbensinnsstörungen zu zweifeln, solange die Sicherheit der Diagnose eine so geringe ist, wie es tatsächlich leider der Fall ist.

Man mufs erwarten, dafs die mit dem Beobachten von Flaggensignalen betrauten Seeleute öfters falsche Ablesungen machen, wenn sie farbenuntüchtig sind. Aber auch hier gilt ähnliches wie in den oben angeführten Fällen: Vereinzelte Fehler wird man dem Manne hingehen lassen; kommen sie häufiger vor, so wird man wohl an mangelhaften Farbensinn denken, der Mann wird dem Arzt zugeführt und nach Holmgren (oder wohl meistens nach einem „vereinfachten“ Verfahren, das der Arzt für das Holmgrensche ausgibt) untersucht: er führt die Probe, vielleicht zögernd und ungeschickt, aber schliefslich ohne schwere Fehler, möglicherweise sogar ohne jeden Fehler aus. Nun erklärt man den Farbensinn für normal, den Mann für dumm, träge oder schwerfällig, bestraft ihn dann auch vielleicht für falsche Signalablesungen. Dabei kann er sehr wohl ein anomaler Trichromat sein, ja sogar ein Farbenblinder.

Meines Erachtens liegt die Sache jetzt also folgendermafsen: Nach den Erfahrungen im Laboratorium kann mit Bestimmtheit

gesagt werden, dafs die Farbenblinden (und die Anomalen) zur Verwechslung von Signallichtern und Signalflaggen viel mehr disponiert sind, als jeder Farbentüchtige ceteris paribus; auch ist es sehr wahrscheinlich, dafs häufig solche Verwechslungen tatsächlich vorkommen, die natürlich erstens nicht leicht von anderen bemerkt werden und zweitens lange nicht immer schlimme Folgen zu haben brauchen. Wo sie aber solche haben, eine Schiffskollision oder ein Eisenbahnunglück bewirken, da sind, wie oben auseinandergesetzt, wiederum Bedingungen vorhanden, die es unwahrscheinlich oder zum mindesten unsicher erscheinen lassen, dafs die wahre Ursache in der Farbenblindheit eines Angestellten wirklich auch festgestellt wird.

Nach wie vor bleibt es also eine wohl begründete Mafsregel, wenn die Eisenbahn- und Marineverwaltungen an der Untersuchung des Farbenunterscheidungsvermögens festhalten und die Farbenuntüchtigen ausschliefsen.

Ich habe oben schon erwähnt, dafs die preufsisch-hessische Eisenbahnverwaltung neuerdings im Prinzip als farbenuntüchtig alle Dichromaten und alle anomalen Trichromaten rechnet. In Praxi wird danach entschieden, ob der Untersuchte, nach einem von mir angegebenen Verfahren (s. u.) geprüft, ein bestimmtes Mindestmafs von Leistungen des Farbenunterscheidungsvermögens erreicht oder nicht.

Mit der Bestimmung, dafs die anomalen Trichromaten zu den Farbenuntüchtigen zu rechnen seien, ist etwas wesentlich neues nicht eingeführt, da bisher keineswegs nur die im strengen Sinne „farbenblinden“ d. h. die Dichromaten allein eliminiert wurden, sondern diejenigen, die die vom Bahnarzt angewandte Prüfung nicht bestanden.

Diese Prüfung sollte in Preufsen bis jetzt bestimmungsgemäfs nach der Wollprobe erfolgen[1], in anderen Bundesstaaten war

---

[1] Das von dem bisherigen Reglement vorgeschriebene Verfahren ist nicht das Holmgrensche, da angegeben wird, es solle zuerst die Rosaprobe und danach erst die Grünprobe angewandt werden. Die Reihenfolge ist von nicht sehr grofsem Belang, wenn man streng daran festhält, unter allen Umständen immer beide Proben zu machen. Wenn man es dagegen nach etwaigem Bestehen der Rosaprobe hierbei bewenden läfst und den Mann daraufhin für farbentüchtig erklärt, so verliert die Probe fast jeden Wert, denn unter Personen, die sich Mühe geben (wie es bei den Eisen-

bzw. ist es dem Belieben des Bahnarztes überlassen, welches Untersuchungsverfahren er anwenden will. So ist es z. B. noch in Baden. Da nun ein nicht unbeträchtlicher Bruchteil der anomalen Trichromaten bei der Wollprobe Fehler macht oder zum mindesten unsicher und langsam wählt, sind diese sicherlich von vielen Bahnärzten als untauglich für den Bahndienst erklärt worden. Das bisherige Reglement gab den Bahnärzten gar keine näheren Bestimmungen darüber, welcher Grad von Farbensinnsstörung zur Entscheidung „untauglich" vorliegen müsse. Insbesondere war nicht gesagt, dafs der Begriff der wegen Farbensinnsstörung Untauglichen sich mit dem Begriff der „Farbenblinden" (Dichromaten) decke. Das war in gewisser Hinsicht zweckmäfsig, denn es ist in manchen Fällen nicht ganz leicht, mittels der Wollprobe sicher festzustellen, ob dichromatisches oder anomales trichromatisches System vorliegt. Zweifelsohne haben die verschiedenen Bahnärzte sehr verschieden geurteilt: die einen mögen die typischen Verwechslungen eines Dichromaten, wie sie Holmgren beschrieb, als Voraussetzung für den Entscheid „untauglich" betrachtet habe, andere würden schon jeden abgewiesen haben, der nur bei der Grünprobe Fehler machte (also nach Holmgren „unvollständig farbenblind" war), manche endlich mögen ein zögerndes, unsicheres Verhalten bei der Wollprobe als hinreichend verdächtig betrachtet haben. Sind solche Differenzen in der Beurteilung auch nicht tragisch zu nehmen und jedenfalls lange nicht so schlimm wie die nicht seltenen Fälle, in denen Farbenblinde als farbentüchtig bezeichnet wurden, so war es doch immerhin wünschenswert, dafs einem solchen unsicheren Zustande ein Ende gemacht wurde.

Ungünstig war bei der bisherigen Sachlage auch folgender Umstand. Das Reglement der Eisenbahnen spricht von der Ausschaltung der Personen mit „mangelhaftem Farbenunterscheidungsvermögen", ohne wie gesagt diesen Begriff näher zu bestimmen. An anderen Stellen verwendet die Eisenbahn in-

---

bahnangestellten meistens der Fall sein wird), wird man bei diesem Vorgehen gut 90% der Farbenblinden, namentlich der Grünblinden, durchschlüpfen lassen.

Die Modifikation des Holmgrenschen Verfahrens, die man in Deutschland, in der Hauptsache wohl dem Vorschlage von Daae und Cohn folgend, eingeführt hat, war also keine glückliche.

dessen den Ausdruck „farbenblind“ als Bezeichnung für die Personen mit mangelhaftem Farbensinn. So wurden bisher diese in einem auf die Personalakten aufgeklebten Zettel oder in einer auffällig angebrachten Aufschrift als „farbenblind“ gekennzeichnet (wenigstens bei einem Teil der Direktionen). Auch konnte der Bahnarzt den Untersuchten für „farbenblind“ erklären. Geriet nun ein zu Untersuchender zu einem Arzt, der den Begriff „Farbenblindheit“ sehr weit faſste, oder aus Unkenntnis der Merkmale des typischen Dichromaten einen Farbenschwachen für „farbenblind“ erklärte, so war die Möglichkeit zu einem Konflikt der Diagnosen gegeben, sobald der für farbenblind Erklärte sich bei diesem Urteil nicht beruhigte, sondern zu einem anderen Bahnarzt ging oder schlieſslich zu einem Ophthalmologen. Letzterer, in der Wahl der Untersuchungsmethode nicht beschränkt, konnte eventuell leicht feststellen, daſs es sich nicht um wahre Farbenblindheit handelte. Nun hatte die Eisenbahnverwaltung sich widersprechende Gutachten, von denen das eine sagte: farbenblind, das andere: nicht farbenblind. Jeder der beiden Sachverständigen hatte von seinem Standpunkte aus recht. Daſs derartige Fälle oft genug vorgekommen sind, weiſs ich aus eigener Erfahrung.

Allen diesen Schwierigkeiten wurde ein Ende bereitet, sobald die Eisenbahnverwaltung sich entschloſs, statt „farbenblind“ den Ausdruck „farbenuntüchtig“ zu setzen, und diesen Begriff in dem oben erwähnten Sinn zu definieren. Daſs der ophthalmologische Spezialist, der den Begriff der Farbenblindheit kennt und die exakte Diagnose zu stellen vermag, sich die im Kreise der Bahnärzte üblich gewordene Verallgemeinerung des Begriffs zu eigen machen und jeden irgendwie fehlerhaften Farbensinn als Farbenblindheit bezeichnen soll, ist nicht zu verlangen und nicht zu wünschen. Wohl aber kann er die Unterscheidung zwischen „Farbentüchtigen“ und „Farbenuntüchtigen“ acceptieren, wenn der Begriff des „Farbenuntüchtigen“ definiert wird als „Dichromaten + anomale Trichromaten“.

Es versteht sich von selbst, daſs unter dem Begriff „farbenuntüchtig“ auch die Fälle von totaler Farbenblindheit und von erworbener aber stationär gewordener Farbensinnsstörung fallen. Von letzterem Fall wird weiter unten noch zu sprechen sein. Angeborene totale Farbenblindheit ist ja bekanntlich sehr selten und stets von solcher Amblyopie begleitet, daſs sie bei diesen Betrachtungen füglich unberücksichtigt bleiben kann.

3. Näheres über die Farbenuntüchtigkeit der anomalen Trichromaten.

Seit langem kennt man aufser den typischen Formen der Farbenblindheit noch andere Farbensinnsstörungen, die sich nicht unter einen Typus der dichromatischen Systeme unterordnen lassen. Die von diesen Personen gemachten Farbenverwechslungen und Benennungsfehler stellen sich für den Normalen als geringergradig dar, als die Verwechslungen und Fehler der Dichromaten.

Man hat in solchen Fällen meistens von „schwachem Farbensinn“ oder „Farbenschwäche“ gesprochen. Holmgren stellte den typischen dichromatischen Systemen, die er als „vollständige partielle Farbenblindheit“ bezeichnete, die unvollständige Farbenblindheit gegenüber. Sie charakterisiert sich dadurch, dafs nur bei der Grünprobe, nicht aber bei der Rosaprobe Fehler gemacht werden.

Man kann heute mit Bestimmtheit sagen, dafs diese Gruppe der „unvollständig Farbenblinden“ nichts in sich einheitliches darstellt, wenigstens dann nicht, wenn die Diagnose nur nach der Wollprobe gestellt wird. Wie ich früher mitgeteilt habe und seitdem noch öfters zu bestätigen Gelegenheit hatte, bestehen viele Deuteranopen (Grünblinde) die Rosaprobe ohne Fehler, nur bei der Grünprobe machen sie (gutes Wollsortiment und richtiges Prüfungsverfahren vorausgesetzt) stets Fehler. Ebenso aber verhalten sich sehr viele anomale Trichromaten. Die Gruppe der unvollständig Farbenblinden setzt sich also aus einem Teil der Dichromaten und einem Teil der anomalen Trichromaten zusammen. Diese Holmgrensche Bezeichnung hat sich übrigens bekanntlich nicht eingebürgert, während die Bezeichnung „schwacher Farbensinn“ vielfach angewandt wird.

Ich bin nun, um es kurz zu sagen, überzeugt, dafs nahezu alle die Fälle von angeborenen Farbensinnsstörungen, die man neben der typischen Farbenblindheit beobachtet und als Farbenschwäche bezeichnet hat, nichts anderes als anomale Trichromaten waren. Es hat zwar meines Wissens niemand versucht, den Begriff des schwachen Farbensinns scharf zu umgrenzen, aber die Eigenschaften, die man ihm wohl im allgemeinen zuschreiben dürfte, sind alle bei den anomalen Trichromaten zu finden, bald mehr bald weniger stark ausgebildet.

Ich habe unter den vielen tausend Personen, deren Farbensinn ich untersucht habe, keinen einzigen Fall von ausgeprägt schwachem Farbensinn gefunden, der nicht bei genauerer Untersuchung sich als anomaler trichromatischer Farbensinn erwiesen hätte. Ich will natürlich nicht behaupten, dafs Farbenschwäche stets auf anomalem trichromatischem System beruhe, wohl aber gilt dies ganz bestimmt für die weit überwiegende Mehrzahl aller Fälle. Umgekehrt kenne ich aber auch keinen anomalen Trichromaten, dessen Farbensinn nicht als schwach zu bezeichnen wäre.[1]

Allerdings bestehen in dieser Hinsicht sehr bedeutende Unterschiede zwischen den einzelnen Fällen. Neben solchen Anomalen, bei denen eine Abnormität des Farbensinns im gewöhnlichen Leben und bei der Prüfung mittels der bisher verbreitetsten Untersuchungsmethoden kaum auffällt, findet man solche, die sich fast wie Dichromaten verhalten und oft nur sehr schwer von diesen zu unterscheiden sind.

Was die anomalen Trichromaten am schärfsten charakterisiert, ist bekanntlich ihr Verhalten gegenüber der „RAYLEIGH-Gleichung“ (wie wir sie kurz nennen können), d. h. einer Gleichung zwischen einem homogenen Gelb (589 $\mu\mu$) und einer Mischung aus Rot und Grün (etwa 670 und 545 $\mu\mu$). Wenn ein normaler Trichromat die Mischung so herstellt, dafs sie dem reinen Gelb gleich aussieht, so ist diese Gleichung für die Anomalen nicht zutreffend; ein Teil von ihnen findet die Mischung grün (Rotanomale), der andere rot (Grünanomale); um eine Gleichung zu erhalten, mufs also der Rotanomale mehr Rot, der Grünanomale mehr Grün in die Mischung hineinnehmen als der Normale.

Mehr als diese Eigentümlichkeit interessieren in diesem Zusammenhange gewisse andere Eigenschaften des Farbensinns der Anomalen, durch die sich dieser im täglichen Leben und bei Anwendung eines der üblichen Prüfungsverfahren als abnorm erweist.

Eine Zusammenstellung dieser Eigenschaften hat Dr. GUTTMANN im Jahre 1904 auf dem Giefsener Psychologenkongrefs mit-

[1] Den ersten Hinweis auf „Farbenschwäche“ der Anomalen gab DONDERS (*Arch. f. Ophthalm.* **27** u. **30**, *Arch. f. (Anat. u.) Physiol.* 1884), auf dessen Untersuchungen im zweiten Teil dieser Arbeit zurückzukommen sein wird.

geteilt. Herr G. ist selbst anomaler Trichromat und hat sich um die Kenntnis dieser Anomalie sehr verdient gemacht, indem er zunächst als Versuchsperson mir wertvolle Dienste leistete, und dann auch mehrere Jahre hindurch selbständige Untersuchungen ausführte, die zum Teil abgeschlossen sind, zum Teil noch weiter geführt werden sollen.

In dem erwähnten Kongreſsbericht charakterisiert Guttmann die Anomalen folgendermaſsen:

„Diese Personen zeigen bei systematischen Untersuchungen eine Reihe von eigentümlichen, ihnen allen gemeinsamen Abweichungen vom Normalen:

1. sie haben eine geringere Unterschiedsempfindlichkeit als die Normalen für Farbentöne, die im Spektrum der Gegend des Na-Gelb entsprechen, eine etwas höhere Unterschiedsempfindlichkeit als die Normalen im Grün;

2. sie sind abhängiger von der Intensität des farbigen Reizes, insofern als sie nur bei einem Optimum des Reizes sicher urteilen können;

3. sie sind abhängiger von Helligkeitsdifferenzen, insofern als diese ihnen oft auffälliger als Farbentondifferenzen sind;

4. sie brauchen zum Erkennen von Farben erheblich gröſsere Gesichtswinkel;

5. sie brauchen zum Erkennen von Farben erheblich längere Zeit;

6. sie ermüden farbigen Reizen gegenüber schneller;

7. sie haben einen erheblich stärkeren Simultankontrast als die Normalen.“

Die zahlenmäſsigen Belege gibt Herr Dr. Guttmann in einer demnächst erscheinenden Abhandlung, auf die ich mich hier wohl beziehen kann, ohne die Zahlen selbst anzuführen. Dagegen muſs ich noch etwas näher auf einige der Punkte der obigen Aufzählung von Besonderheiten der Anomalen eingehen.

Mit Bezug auf die Herabsetzung der Unterschiedsempfindlichkeit für Farbentöne möchte ich folgendes bemerken.

Wo „schwacher Farbensinn“ vorliegt, hat man bisher wohl zumeist an herabgesetzte Unterschiedsempfindlichkeit gedacht. Lotze gibt in seiner Dissertation[1] an, daſs die mittleren

[1] Freiburg i. Br. 1898.

Schwankungen seiner Einstellungen am Farbenmischapparat nicht gröfser waren, als die der normaltrichromatischen Vergleichsperson. Ich habe bei Versuchen mit einigen Anomalen zunächst den gleichen Eindruck gewonnen, doch zeigte sich bald, dafs ein Unterschied zu ungunsten des Anomalen doch da war, und nur darum nicht deutlich herauskam, weil in der Spektralregion, in der wir untersuchten (Gegend der Natriumlinie) die Ablesungsgenauigkeit unseres Farbenmischapparates nicht ausreichte. Herr Dr. GUTTMANN vermochte bei sich selbst eine Herabsetzung der Unterschiedsempfindlichkeit in der Region das Gelb bestimmt festzustellen. Die nicht sehr bedeutende Erhöhung der Unterschiedsempfindlichkeit in der Gegend des Blaugrün (um 500), von der G. spricht, dürfte keine allgemein bei Anomalen anzutreffende Erscheinung sein.

Bei einer grofsen Zahl von anderen Anomalen findet man übrigens die Unterschiedsempfindlichkeit für Farbentöne in weit höherem Mafse herabgesetzt als bei Herrn GUTTMANN, namentlich in der Region des Grüngelb. Das Licht der Natriumflamme ($\lambda = 589$) erscheint den Anomalen noch deutlich orange[1], das Gelb ohne Annäherung an Orange oder Grün liegt erst bei etwa 570. In der Spektralregion von 570 bis 540 $\mu\mu$ findet man nun zuweilen die Unterschiedsempfindlichkeit für Farbentöne ganz bedeutend reduziert, ja bei manchen Beobachtern erscheint sie mitunter fast auf Null reduziert, d. h. diese Personen können Gleichungen zwischen Lichtern von 570 und 540 erhalten. Sie nennen dann beide Farben gelb oder weifs, gelegentlich aber auch grün. Auf derartige Fälle komme ich unten noch zurück. In anderen Fällen kann man im Gegensatz zu den eben erwähnten den Punkt des reinen Gelb und die Umschlagsstellen gegen rötlich und grünlich recht scharf feststellen. Bei diesen Personen läfst sich natürlich auch die „RAYLEIGH-Gleichung" (s. o. S. 251) recht genau einstellen, während sie bei der vorher erwähnten Gruppe von Anomalen (speziell sind es Grünanomale) nicht so leicht einzustellen ist. Diese Personen sehen es sofort, wenn in der Mischung zu viel Rot ist. Sie erklären z. B. die

[1] Bekanntlich trifft das auch für viele normale Trichromaten zu, während andere das reine, weder grünliche noch rötliche Gelb gerade in die Gegend der Natriumlinie verlegen. Die Anomalen nennen aber ein kürzerwelliges Licht reingelb, das alle Normalen schon deutlich grünlich nennen.

für den Normalen gültige Gleichung für ganz ungültig, das Gemisch ist für sie viel zu rot. Wenn man dann ganz allmählich in kleinen Schritten den Rotanteil vermindert, den Grünanteil entsprechend erhöht, so findet man eine Grenze, wo das Gemisch nicht mehr zu rot, sondern dem homogenen Vergleichslicht farbengleich ist. Nun kann man aber (im Gegensatz zu der häufigeren Form der Grünanomalen) bei dieser Gruppe von Grünanomalen noch sehr viel mehr Grün zumischen, ja bei gewissen extremen Formen geradezu das Grün (540) rein neben das gelbe Vergleichslicht stellen, ohne dafs damit für diese Personen Ungleichung auftritt. Man mufs nur meistens die Helligkeitsverhältnisse etwas regulieren.

Personen dieser Art, die ich mangels einer präziseren Bezeichnung zunächst die „extremen Grünanomalen" nennen will, kann man bei flüchtiger Untersuchung am Spektralapparat leicht für Dichromaten halten, speziell für Deuteranopen. Bei der Prüfung mit den üblichen praktischen Proben (Holmgren, Stilling, Florkontrastproben) erscheinen sie sogar als typisch grünblind. Bei der Prüfung mit meinem Farbengleichungsapparate oder meinen Tafeln zeigen sie zwar auch die schwere Anomalie, aber auch die wesentliche Abweichung von den Dichromaten, indem sie nur die Grün-Grau- und Grün-Braunverwechslungen machen, aber niemals Rosa-Grau- oder Rosa-Grünverwechslungen. Auch am Spektralfarbenmischapparat erkennt man die grofse Abweichung von den Dichromaten sogleich an der Unmöglichkeit, Gleichungen zwischen Rot und Gelb, oder Purpur und Blaugrün zu erhalten.

Ganz analoge Fälle gibt es übrigens auch unter den Rotanomalen. Sie imponieren bei Prüfung nach Holmgren, Stilling etc. als Protanopen, und es kann sehr schwer werden, sie von diesen zu unterscheiden, da sie auch am Spektralapparat zwischen Rot und Gelb nahezu eine Gleichung erhalten, wenn das richtige Helligkeitsverhältnis gewählt wird. Sie legen bei Einstellung einer Gleichung gerade so wie die Dichromaten viel mehr Gewicht auf Helligkeitsdifferenzen, als auf Wellenlängenunterschiede. Namentlich wenn man solche „extreme Rotanomale" etwas lange (einige Sekunden) in das Okular des Farbenmischapparates blicken läfst, verschwinden ihnen die Differenzen des Farbentons und sie erklären nun, eine befriedigende Gleichung vor sich zu haben. Nach einigem Ausruhen äufsern sie dann,

das eine der beiden Felder scheine „doch etwas röter" zu sein (das wirklich rote).

Ich kenne bis jetzt nur fünf solche „extreme Rotanomale" und habe über ihr Verhalten noch nicht die wünschenswerte Erfahrung. Nicht recht erklärlich ist, dafs sie, die nach allen üblichen Prüfungsverfahren und auch am Spektralapparat leicht für Dichromaten gehalten werden können, bei Untersuchung mit meinen Farbentafeln sich mit Leichtigkeit von diesen unterscheiden lassen und sich als Anomale dokumentieren.

Die einzigen Fehldiagnosen, die mir meines Wissens bei Untersuchungen mit meinem Farben a p p a r a t passiert sind, betrafen solche Rotanomale; ich hatte sie (in zwei Fällen) als Protanopen diagnostiziert, ein Irrtum, der natürlich praktisch ganz bedeutungslos ist, da niemand daran zweifeln kann, dafs die Rotanomalen „farbenuntüchtig" sind. Ich halte es für sicher, dafs in früheren Statistiken viele Personen als Rotblinde (Protanopen) registriert worden sind, die in Wirklichkeit Rotanomale waren. Ebenso werden manche „extreme Grünanomale" selbst von sorgfältigen Untersuchern für Grünblinde gehalten worden sein. Die Entscheidung kann immer erst der Spektralfarben-Mischapparat geben.

Die hier besprochene herabgesetzte Unterschiedsempfindlichkeit in der Grün-Graureihe und in der Grün-Braunreihe ist eine der beiden charakteristischen Eigenschaften der Anomalen, die ich bei der Konstruktion meiner Farbentafeln zur Diagnose der Anomalen verwende (s. u.).

Weitere charakteristische Eigenschaften der anomalen Trichromaten liegen in der beträchtlichen Abhängigkeit von der Intensität der fertigen Reizlichter und dem Gesichtswinkel, unter den diese erscheinen. Schwach beleuchteten farbigen Objekten gegenüber versagt ihr Farbenunterscheidungsvermögen in auffallenderer Weise als dies bei Normalen geschieht. Dabei ist zu bedenken, dafs die Fähigkeit der Dunkeladaptation bei den Anomalen keineswegs weniger entwickelt ist [1], als beim Normalen. Selbstverständlich ist es, dafs Rotanomale mit ihrer Unterempfindlichkeit für langwellige Strahlen rote Lichter bei einer Intensität schon nicht mehr sehen, bei der sie für den Normalen und den Grünanomalen noch deutlich sichtbar sind. Sie verhalten sich hier ganz wie die Protanopen. Läfst man sie ein objektiv dargestelltes

[1] Vergl. H. Piper, Über Dunkeladaptation. *Diese Zeitschrift* **31**, 196 ff.

Spektrum betrachten und das Ende des Spektrums markieren, so zeigt sich, dafs sie ein beträchtliches Stück vom äufsersten Rot schon nicht mehr sehen.

Praktisch wesentlich wichtiger ist die Tatsache, dafs unter sonst gleichen Umständen die Anomalen ein farbiges Objekt unter gröfserem Gesichtswinkel betrachten müssen, wenn sie die Farben erkennen sollen (Donders).

Sie haben daher alle die Gewohnheit, Gegenstände, deren Farben sie erkennen wollen, womöglich aus geringer Entfernung zu betrachten, so dafs man sie für Kurzsichtige halten könnte, auch wenn sie es nicht sind. Insbesondere bei der Prüfung mittels meiner Farbentafeln ist dies Verhalten stets zu bemerken und geradezu diagnostisch wichtig, wenn man schon vorher weifs, dafs der Untersuchte nicht kurzsichtig oder amblyopisch ist, bzw. wenn eine etwaige Refraktionsanomalie korrigiert ist. Statt, wie es verlangt wird, aufrecht vor dem Tisch zu stehen, auf dem die Farbentafeln liegen, beugt sich der Anomale gern tief herab oder wünscht die Täfelchen in die Hand zu nehmen. Auch bei der Wollprobe ist es sehr verdächtig, wenn der Untersuchte die einzelnen Wollbündel nahe ans Gesicht bringt (auf ca. 25 bis 30 cm) und sich dann erst entscheidet ob das betreffende Bündel mit dem vorgelegten Probebündel gleichfarbig ist. Solche Leute sind fast stets Dichromaten oder Anomale.

An sehr kleinen Objekten können selbst sehr gesättigte Farben für den Anomalen unerkennbar bleiben, unter Bedingungen, wo sie der Normale leicht erkennt. Wenn man beispielsweise mit farbiger Tinte oder Tusche Punkte von $^1/_2$ mm Durchmesser auf Papier zeichnet und aus 30—40 cm Abstand betrachten läfst, erkennt man an dieser Probe die bedeutende Überlegenheit des Normalen recht deutlich.

Ein treffendes Beispiel führt Guttmann an (l. c.): die Schwierigkeit gefärbte Bazillen zu erkennen. Darüber habe ich von manchen Anomalen klagen gehört.

In speziell zu diesem Zwecke unternommenen Versuchsreihen hat auf meine Veranlassung Feilchenfeld (l. c.) die Überlegenheit der normalen Trichromaten über die anomalen im Erkennen der Farben von Laternenlichtern nachgewiesen. Absichtlich wurden dabei nur gesättigt farbige Lichter verwendet, entsprechend den im Signaldienst der Eisenbahn benützten Lichtsignalen. Die Versuche wären noch bedeutender Vervollkommnung fähig und

ich zweifle nicht, daſs sich dann der Unterschied zwischen normalen und anomalen Trichromaten sogar noch gröſser herausstellen würde.

Ich habe mit einigen Anomalen und Dichromaten ähnliche Versuche wie FEILCHENFELD angestellt, und dabei gefunden, daſs selbst solche Anomale, die keineswegs zu den „extremen“ gehören, in der Unterscheidung grüner und „farbloser“ Laternenlichter unter einem Gesichtswinkel von $^1/_{10}{}^0$ und weniger fast genau so unsicher sind, wie typische Dichromaten. Namentlich wenn man isoliert entweder nur grün, oder nur weiſs (bzw. gelb) zeigt, sind sie fast ganz aufs Raten angewiesen.

Eine häufige Klage der Anomalen ist die, daſs sie die farbigen Erkennungszeichen der einzelnen Straſsenbahn- und Omnibuslinien nur schwer, und nicht auf so groſse Entfernungen unterscheiden können, wie Normale mit ähnlicher Sehschärfe.

Es liegt auf der Hand, daſs dieser Punkt, die Abhängigkeit von der Winkelgröſse des Objektes, von besonders groſser praktischer Wichtigkeit ist. Die Eisenbahnbediensteten sowohl wie die Seeleute sehen die farbigen Objekte, die zu Signalen dienen, eigentlich ausnahmslos unter sehr kleinen Gesichtswinkeln. Dazu kommt, daſs die Lichtstärke und Sättigung der Signale in nicht wenigen Fällen gering ist, die Lichtstärke meistens weit unter der für die Farbenerkennung optimalen Gröſse, zumal wenn beräucherte, bestaubte oder mit Wassertröpfchen beschlagene Gläser die Laternen verdunkeln. Es ist dies einer der beiden wesentlichsten Gründe, aus denen meines Erachtens die Anomalen als farbenuntüchtig bezeichnet werden müssen. Man möge sich nicht dadurch täuschen lassen, daſs die Anomalen an einigermaſsen groſsen Objekten, wie es schon die HOLMGRENschen Wollbündel, aus $^1/_2$ m Abstand betrachtet, sind, oft fehlerlos wählen. Unter einem 4—5mal kleineren Gesichtswinkel betrachtet, bleiben die Objekte für den Normalen noch immer fast ebenso sicher unterscheidbar, für den Anomalen nimmt unter gleichen Umständen die Unterscheidungsmöglichkeit ganz bedeutend ab.

Der zweite wesentlichste Punkt, in dem die Ungeeignetheit der Anomalen für den Eisenbahn- und Marinedienst deutlich zutage tritt, liegt in den zeitlichen Verhältnissen der Farbenunterscheidung. Die Feststellung der Tatsache, daſs die Anomalen eine wesentlich längere Zeit benötigen, um Farbenunterscheidungen

(und speziell die für den Signaldienst wichtigen) zu machen, verdanken wir Herrn Dr. GUTTMANN.

Da diese Eigentümlichkeit der Anomalen, wie ich glaube, in engem Zusammenhang mit der Tatsache steht, dafs die Anomalen die STILLINGschen Farbentafeln nicht entziffern können und sie diese an und für sich auffallende Tatsache wenigstens bis zu einem gewissen Grade erklärlich macht, möchte ich schon hier kurz auf diese Tafeln eingehen.

Es war mir seit geraumer Zeit ein anziehendes Problem, welche Bedingungen in der Beschaffenheit des Licht- und Farbensinnes erfüllt sein müssen, damit die Fähigkeit resultiert, die STILLINGschen pseudoisochromatischen Tafeln zu entziffern. Dieses fein ersonnene und mit unermüdlichem Bemühen in immer wieder modifizierter Form hergestellte Untersuchungsmittel gibt mehr Rätsel auf, als sein Autor sich wohl gedacht hat, und, irre ich nicht, auch jetzt noch zugeben möchte. Es kann ja keinem Zweifel mehr unterliegen, dafs Unfähigkeit, die STILLINGschen Tafeln (d. h. eine gröfsere Zahl von Tafeln einer Ausgabe) zu entziffern, keineswegs das Vorhandensein von Farbenblindheit bedeutet.

Es ist recht schade, dafs STILLING dies offenbar noch nicht anerkennt, sondern denjenigen, der seine Tafeln nicht lesen kann, farbenblind nennt, ohne Rücksicht auf dessen Verhalten in anderer Hinsicht.

So grofs sonst die Meinungsverschiedenheiten über das Wesen der Farbenblindheit und ihre zweckmäfsige Klassifizierung sind, so besteht doch darüber eine fast allgemeine Übereinstimmung, dafs der Begriff „partielle Farbenblindheit“ mit dem bezeichnenderen „dichromatischen Farbensinn“ inhaltlich übereinstimmt. Das erkennen sowohl die Vertreter der Dreikomponentenlehre wie die der Gegenfarbenlehre in ihren verschiedenen Abarten an, und STILLING steht also isoliert, wenn er dem Begriff „Farbenblindheit“ ausdrücklich eine allgemeinere Deutung unterlegt.

Aufser den wirklichen Dichromaten findet man noch etwa die gleiche (eher etwas gröfsere) Zahl von Personen, die von den STILLINGschen Tafeln ebenso wenige lesen können, wie die Dichromaten, aber keine solche sind. Die Mehrzahl von ihnen besteht die HOLMGRENsche Probe ohne wesentliche Fehler, wenn auch meist mit Zögern. Ein kleinerer Teil macht bei der Woll-

probe (namentlich der Grünprobe) bedenkliche Fehler, etliche verhalten sich sogar typisch wie Dichromaten. Am Farbenmischapparat mittels der Rayleigh-Gleichung untersucht ergeben sie sich allesamt als anomale Trichromaten.

Diese Leute können von den Stillingschen Tafeln der letzten (10.) Auflage in der Regel nur die erste und die letzte entziffern. Läfst man ihnen sehr viel Zeit und Ruhe, und gibt ihnen die Tafeln in die Hand, so entziffern sie häufig noch eine ganze Anzahl weiterer Tafeln, indem sie mühsam die farbigen Punkte „zusammensuchen", die die Ziffern bilden. Diese Fähigkeit kann durch Übung sehr bedeutend gesteigert werden.

Aufser den Dichromaten und anomalen Trichromaten gibt es nun aber noch eine Gruppe von Personen, die wenigstens einen Teil der Tafeln nur mit Mühe, einzelne gar nicht lesen können. Sie sind, wie sich bei genauerer Prüfung herausstellt, normale Trichromaten.

Das Hauptinteresse konzentriert sich auf die Frage, warum die eigentlichen Anomalen die Stillingsche Tafeln nicht lesen. Lotze deutet in seiner oben erwähnten Dissertation eine auch von mir eine Zeitlang erwogene Deutungsmöglichkeit an, die nämlich, dafs die im Druck der Tafeln verwendeten Farben so gemischt seien, dafs Ziffern und Grund wohl für den Normalen sich scharf voneinander abheben, nicht aber für den Anomalen, für dessen abweichendes Farbensystem das Aussehen der Mischung ein anderes ist. Danach wäre es möglich, mit anders gemischten Pigmentfarben Tafeln nach Stillings Prinzip zu malen, die für den Anomalen leicht, für den Normalen schwer oder gar nicht zu entziffern wären.

Diese Auffassung ist indessen nicht zutreffend. Die Differenzen in der Farbenmischung, die bestenfalls erzielt werden könnten, würden entfernt nicht ausreichen, um die Wirkung hervorzubringen, die man tatsächlich beobachtet. Ich würde jeden Versuch, Tafeln in Farbendruck herzustellen, die für den Anomalen lesbar, für den Normalen nicht lesbar sind, für gänzlich aussichtslos halten.

Theoretisch denkbar wäre es natürlich, mit spektralen Lichtern eine Tafel nach Stillingschem Prinzip herzustellen, die nur für den Anomalen lesbar wäre; die Flecken, die den Grund der Tafel bilden, könnten z. B. in reinem homogenen Natriumgelb leuchten, zwischen ihnen eine Figur aus Flecken, die in einem Mischlicht leuchten, aus Rot und Grün so gemischt,

dafs für den Normalen reines Gelb resultierte. Der Anomale würde die Figur orange auf gelbem Grunde sehen.

Dafs die herabgesetzte Unterschiedsempfindlichkeit für Farbentöne die Unlesbarkeit der Tafeln für die Anomalen bedinge, ist ebenfalls ausgeschlossen, denn bei vielen Anomalen ist diese Herabsetzung nicht bedeutend und aufserdem handelt es sich bei den Tafeln meistens um Nebeneinanderstellung von Farben, die im Spektrum weit auseinander liegen.

Ich halte es hiernach für das wahrscheinlichste, dafs die Unfähigkeit der meisten Anomalen, die Stillingschen Tafeln zu lesen, auf ihrer Eigentümlichkeit beruht, bedeutend längere Zeiten zu brauchen, um den vollen charakteristischen Eindruck einer Farbe zu erhalten. Sie finden die farbigen Punkte, aus denen sich die Ziffern zusammensetzen, wohl heraus, und können deshalb die Zahlen mühsam lesen, wenn sie mit dem Finger oder einem Stift den Zügen der Figuren folgen dürfen. Halten sie aber die Tafel in der Hand und folgen nur mit dem Blick den farbigen Punkten, so entwickelt sich die charakterische von den Farben des Grundes verschiedener Farbe für sie zu langsam, als dafs sich die einzelnen Farbflecke zu einer erkennbaren Figur zusammenschlössen.

Läfst man den Anomalen aber die Tafeln aus mehreren Metern Abstand betrachten, wobei sie mit einem Blick die ganze Figur erfassen könnten, so tritt das andere oben erwähnte Moment hindernd in den Weg, die zu geringe Gröfse des Gesichtswinkels. Auf den diagnostischen Wert der Stillingschen Tafeln komme ich im Abschnitt 4 wieder zurück.

Guttmann hat in einer nächstens zu veröffentlichenden Arbeit in sorgfältigen Versuchsreihen zahlenmäfsig nachgewiesen, dafs die Erkennungszeit für Farben bei den Anomalen beträchtlich erhöht ist, und konnte kürzlich vor einer gröfseren Zahl von normalen und anomalen Trichromaten, sowie von Dichromaten zeigen, dafs unter dem Gesichtswinkel von mehreren Graden kurz aufblitzende Farbenfelder von den Anomalen ebenso unsicher erkannt werden, wie von Dichromaten. Diese wie jene erkennen wohl, ob es eine „kalte“ oder „warme“ Farbe ist, können aber innerhalb jeder dieser Gruppen keine sicheren Unterschiede machen. Blaugrün und reines Grün ist für sie unter diesen Umständen überhaupt farblos.

Die verlängerte Erkennungszeit für Farben halte ich für ein

ganz besonders wichtiges Symptom der anomalen Systeme, wichtig vor allen Dingen in praktischer Beziehung, insofern sie für die Untauglichkeit der Anomalen zum Eisenbahn- und Marinedienst besonders schwer ins Gewicht fällt. In beiden Berufsarten kann man sich häufig vorkommende Fälle denken, wo eine blitzschnelle richtige Erkennung der Farbe und daraus folgendes Handeln vonnöten ist.

Praktisch minder wichtig und auch noch nicht genügend genau untersucht ist die gröfsere Ermüdbarkeit des Farbensinns der Anomalen. Sie macht sich bei wissenschaftlichen Untersuchungen am Spektralapparat recht störend geltend, und bewirkt fehlerhafte Versuchsergebnisse, wenn man nicht die Dauer der Einzelbeobachtung auf ein passendes geringes Mafs (etwa 2—5 Sek.) einschränkt.

Bedeutungsvoller wiederum ist die Eigentümlichkeit der Anomalen, dafs gewisse Erscheinungen des simultanen Farbenkontrastes wesentlich verstärkt auftreten, was ich schon in verschiedenen früheren Publikationen kurz erwähnt habe. Soweit ich bis jetzt gesehen habe, äufsert sich diese Eigentümlichkeit sowohl bei den Rot- wie den Grünanomalen nur dann, wenn Rot oder Grün kontrasterregende Farben sind, nicht aber bei Blau oder Violett. Sehr auffällig zeigt sich die Kontraststeigerung am Farbenkreisel, wo der Anomale, wenn die äufsere Scheibe rot ist, die innere, aus einer Schwarz-Gelb-Mischung bestehende grün sieht, ja selbst noch dann, wenn die innere Scheibe durch Rotbeimischung für den Normalen deutlich orange ist. Besonders interessant war es mir, zu erproben, wie sich anomale Trichromaten, die bisher im Eisenbahndienst standen, verhalten, wenn man ihnen auf schwarzem Grunde (im Dunkelzimmer) eine Reihe feiner farbiger Lichtpunkte zeigt, die unter ähnlichem Gesichtswinkel erscheinen, wie die Laternen im Eisenbahndienst. Es zeigte sich erstens, dafs sie ein deutliches Grün nicht selten weifs oder gelb nannten, andererseits aber ein Gelb (Lampenlicht) grün nannten, wenn es rechts und links in nicht zu grofser Entfernung von roten Lichtern flankiert war.

Die praktische Bedeutung dieses Befundes leuchtet ein. Die theoretische Bedeutung ist dagegen noch recht unklar, und ich möchte, ehe genauere Ermittelungen vorliegen, auf diese Frage nicht weiter eingehen. Erinnert möge noch daran werden, dafs Collin und ich bei Untersuchung eines Patienten, dessen eine

Fovea auf Grund eines pathologischen Prozesses vorübergehend tritanopisch (violettblind) geworden war, während des Heilungsverlaufs einen Zustand fanden, in dem das kranke Auge ebenfalls gesteigerten Farbenkontrast sah, jedoch nur am violetten Ende des Spektrums: blau neben blauviolett sah grün aus. Da der Patient in diesem Stadium der Erkrankung zur Mischung eines Blau aus Blaugrün und Violett deutlich mehr Violett brauchte, als ein Gesunder und auch als er selbst bei Beobachtung mit seinem gesunden Auge, liegt es nahe an die theoretisch zu erwartende dritte Art eines anomalen trichromatischen Systems (violettanomal) zu denken. Möglicherweise hat M. Knies[1] unter seinen von ihm sogenannten „Violettblinden" einige solche Violettanomale vor sich gehabt, bei denen allerdings die Anomalie angeboren sein müfste.

4. Kritisches zur Diagnostik.

Wie schon in der Einleitung erwähnt wurde, folgte aus der Einbeziehung der anomalen Trichromaten in den Begriff „farbenuntüchtig" die Notwendigkeit eine Methode zu finden, die gestattet, die Anomalen ebenso leicht und sicher zu diagnostizieren wie die Dichromaten. Dafs die bisherigen Methoden dazu wenig geeignet sein konnten, lag auf der Hand; teils wufste man früher von den Anomalen überhaupt nichts, teils hielt man sie für eine interessante, aber im Eisenbahndienst ungefährliche, daher praktisch unwichtige Spielart des normalen Trichromaten. Donders, der die Minderwertigkeit ihres Farbensinns klar erkannte, interessierte sich weniger für die praktische Diagnostik. Holmgren, dessen Interesse gerade in der Diagnostik gipfelte, kannte das wahre Wesen des anomal trichromatischen Farbensinns noch nicht. Er stellte zwar bei seinen umfassenden Versuchen an grofsem Material eine zwischen dem Farbenblinden und dem Farbentüchtigen stehende Gruppe der „unvollständig Farbenblinden" fest, aber diese umfafste wohl kaum alle Anomalen, dagegen die Mehrzahl der Anomalen plus einem Teil der Dichromaten, vor allem der Deuteranopen (Grünblinden).

Gewifs kann ein auf dem Gebiete der Farbensinnsstörungen wohl erfahrener Untersucher mittels eines guten Wollsortiments nach Holmgren (nur die aus Upsala bezogenen kommen m. E.

[1] *Archiv f. Augenheilk.* **37**, 234.

hierfür in Betracht) alle Farbenuntüchtigen, d. h. sowohl Dichromaten wie anomale Trichromaten hinreichend sicher von den Normalen sondern. Aber es gehört dazu viel Zeit und ein reiches Mafs von Erfahrung. Ich für meine Person würde mich nicht getrauen, auf diese Weise zu untersuchen. Die meisten Farbenblinden und viele Anomale machen allerdings so charakteristische Fehler, dafs kein Zweifel darüber bestehen kann, dafs man „Farbenuntüchtige" vor sich hat. Die Entscheidung darüber, ob man Dichromaten oder anomale Trichromaten vor sich hat, kann allerdings häufig sehr schwer, nicht selten unmöglich sein. Aber auch die Fälle können Schwierigkeiten bereiten, in denen nur geringe Fehler gemacht werden, z. B. ungesättigt grüne oder ungesättigt rote Farben nicht sicher von grau bzw. braun unterschieden werden. Man kann es hier nicht nur mit anomalen Trichromaten, sondern sogar mit Dichromaten (Deuteranopen) zu tun haben. Mehrfach wiederholte gründliche Untersuchung wird auch in solchen Fällen schliefslich ergeben, ob eine wirkliche Anomalie des Farbensystems vorliegt. Natürlich ist aber mit der Anerkennung dieser Sachlage das Urteil über die Wollprobe als allgemeines amtliches Untersuchungsmittel gesprochen. Mehrfache, im ganzen stundenlang dauernde Untersuchungen dürfen ebensowenig wie gründliche Erfahrung in der Untersuchung nötig sein, um bei einer Person festzustellen, ob sie farbentüchtig oder farbenuntüchtig ist.

Wer von den Lesern meine Publikationen aus dem Ende des letzten Jahrzehnts kennt, bemerkt eine Änderung meiner Wertschätzung der Holmgrenschen Methode. Ich habe diese früher als Hilfsmittel für die Diagnose der typischen Dichromaten günstiger taxiert, als ich es jetzt tun kann. Es soll ja, wie aus dem oben Gesagten hervorgeht, die Möglichkeit keineswegs bestritten werden, nach Holmgren schnell und sicher die schwereren Farbensinnsstörungen festzustellen (die Differenzialdiagnose ist praktisch wenig wichtig), aber es gehört gröfsere Erfahrung und Routine dazu, um die Prüfung auszuführen, als die meisten annehmen und als auch ich früher angenommen habe. Freilich wer sich genau an Holmgrens eigene Vorschriften für die Prüfung halten wollte, brauchte nicht mehr als die Gabe, den Untersuchten während der Untersuchung gut zu beobachten. Aber wer hält sich denn heutzutage an die Holmgrenschen Vorschriften? Ich habe mit vielen Ärzten gesprochen, die berufs-

mäfsig Farbensinnsprüfungen auszuführen haben. Aber ich habe nicht viele gefunden, die das einfache von Holmgren selbst empfohlene Verfahren wirklich kannten und beherrschten.[1] Sehr bezeichnend ist es schon, dafs die in Deutschland zusammengestellten und zum Teil durch Staatsbehörden an die Ärzte verteilten Wollsortimente durchaus nicht den Bedingungen entsprechen, die an „Wollproben nach Holmgren“ zu stellen sind. Sehr wahrscheinlich wird es in anderen Ländern ebenso sein, mit Ausnahme vielleicht von Schweden, wo es am einfachsten ist, die Wollen von den beiden Quellen in Upsala zu beziehen, die die richtige Auswahl von Wollfäden in richtiger Qualität und Zahl liefern. Dazu kommt, dafs die Mehrzahl der mit Farbensinnsprüfung betrauten Ärzte die Vorschriften für die Prüfung überhaupt nicht genügend kannte, oder sich für berechtigt hielt, das Verfahren zu „verbessern“ und zu „vereinfachen“. Geradezu unglaubliche Dinge kann man in dieser Hinsicht erfahren, und zwar zum Teil aus dem Munde der Herren selbst, die nach so „vereinfachtem Holmgrenschen Verfahren“ untersuchten. Wurde mir doch von einer Anzahl von Ärzten, die berufsmäfsig „nach Holmgren“ den Farbensinn zu prüfen hatten, mitgeteilt, dafs sie auf diese Prüfung pro Kopf nicht

[1] Dafs die Farbensinnsprüfung vielfach so stiefmütterlich behandelt wird, dafs man glaubt, sie ohne weiteres Studium und ohne Übung ausführen zu können, während man bei anderen sinnesphysiologischen und sonstigen Untersuchungen viel gröfsere Ansprüche an sich und andere stellt, erklärt sich leicht daraus, dafs der augenärztliche Praktiker, von dem der Anfänger die Untersuchungsmethoden lernen soll, der als unheilbar bekannten und für die meisten Menschen nicht sehr wichtigen Farbenblindheit kein nennenswertes Interesse entgegenbringt. Gerade dem vielbeschäftigten Augenarzt wird am wenigsten Zeit bleiben, sein grofses Material zum Studium der Farbenblindheit und zur Einübung in ihre Diagnostik auszunützen; er hat wichtigeres zu tun. So erklärlich also die Sachlage ist, so unerwünscht ist sie doch, denn zur Untersuchung von Eisenbahn- und Marinepersonal ist eine gründliche Beherrschung dieses Gebietes nötig. Erfahrene Ophthalmologen werden mir gewifs zugeben, dafs die diagnostischen Leistungen der Augenkliniken im Gebiet des Farbensinns noch verbesserungsfähig sind. Unter diesen Umständen ist es nicht sehr verwunderlich, wenn die Bahn- und Marineärzte geringe diagnostische Leistungen aufweisen. Man wird von ihnen nicht viel mehr erwarten können, solange in den Augenkliniken nicht höhere Ansprüche an die Diagnosen auf farbenphysio- und pathologischem Gebiet gestellt werden, als es manchen Orts geschieht.

mehr als 10 Sekunden Zeit verwenden könnten. Wenn unter diesen Umständen schlechte Resultate erzielt werden, so kann das natürlich nicht überraschen und nicht der Wollprobe zur Last gelegt werden.

Es ist wohl nicht nur meine Überzeugung, sondern die Überzeugung vieler, dafs über den Wert einer Methode der Farbensinnsprüfung nur die nach dieser Methode ausgeführte Untersuchung zahlreicher Personen entscheiden kann, die danach mittels der Spektralfarben geprüft werden. Die Untersuchung am Spektralapparat geeigneter Konstruktion ist und bleibt eben doch das souveräne Mittel, mit dem die anderen Untersuchungsmittel nicht in Konkurrenz treten können. Vor ihm versagen, wenn er von kundiger Hand eingestellt und verwertet wird, alle Künste der Simulation wie der Dissimulation von Farbensinnsstörungen.[1]

Holmgren hatte sich bemüht, in sorgfältigen und langwierigen Untersuchungen am Spektralapparat festzustellen, welche

[1] Allgemein ist diese Wertschätzung der Untersuchung am Spektralapparat freilich nicht. Man kann in ärztlichen Kreisen mit mehr oder weniger deutlicher Mifsachtung von diesen „physiologischen und physikalischen Spitzfindigkeiten und Finessen" reden hören. Die so sprechen, sind natürlich überwiegend Personen, die erstens mit dem Spektralapparat als solchem, zweitens mit der systematischen Prüfung an diesem wenig oder gar nicht vertraut sind. Dieselben Personen verstehen vielleicht ebensowenig das Konstruktionsprinzip des Induktionsapparats, des Telephons und Mikroskops; deren Benutzung aber mufsten sie erlernen, und es sind ihnen nun keine physikalischen Spielereien mehr. Dafs mancher praktische Arzt und Bahnarzt vor dem Spektralapparat und gar vor einem der komplizierten Farbenmischapparate eine leise Scheu hat, ist begreiflich, weil den wenigsten Gelegenheit geboten wird, die Benutzung eines solchen Instruments zu sehen oder gar selbst damit zu arbeiten. Bedauerlich aber ist es, wenn, wie es mir bekannt ist, einzelne Ophthalmologen und auch Bahnaugenärzte behaupten, die Untersuchung am Spektralapparat verwirre die untersuchten (wenig gebildeten) Personen und gebe unklare Resultate, weil zu viel von ihnen verlangt würde. Damit zeigen diese Ärzte nur, dafs sie gar nicht wissen, wie am Farbenmischapparat untersucht wird. Tatsächlich wird hierbei s e h r v i e l w e n i g e r Intelligenz vom Untersuchten verlangt, als etwa bei der Holmgrenschen oder Daaeschen Wollprobe. Die stupidesten Rekruten reagieren am Spektralapparat prompt und klar, und es dürfte eine Kleinigkeit sein, bei jedem fünfjährigen Kind, das die Farbennamen kennt, am Spektralapparat die Diagnose des Farbensinns zu stellen. Nicht an den Untersuchten, sondern an den Untersucher stellt dieses Verfahren einige Ansprüche.

Arten von Farbensinnsstörungen diejenigen Personen hatten, die bei der Wollprobe Fehler machten. Wenn wir jetzt bei Nachprüfung seiner Ergebnisse zu etwas anderen Resultaten kommen, als Holmgren selbst, so liegt das wohl in der Hauptsache daran, dafs die Methoden der Untersuchung am Spektralapparat wesentlich vervollkommnet sind, und die modernen Farbenmischapparate mit Leichtigkeit feststellen lassen, was mit den von Holmgren verwendeten Vorrichtungen schwer oder überhaupt nicht festzustellen war. So konnte Holmgren über das Wesen des Farbensinns seiner „unvollständig Farbenblinden" (der jetzigen anomalen Trichromaten) nicht ganz ins klare kommen.

Von den übrigen Autoren, die Methoden zur Farbensinnsprüfung angegeben haben, hat keiner durch umfangreiche Untersuchungen am Spektralapparat seinem Verfahren die nötige feste Grundlage gegeben. Die Zahl der Abhandlungen über Farbensinnsprüfung ist bekanntlich grofs, und namentlich sehr zahlreiche Bahnaugenärzte haben in die Diskussion über das zweckmäfsigste Verfahren zur Ermittelung der Farbenblindheit eingegriffen, und diese oder jene Methode als praktischste und „sicherste" empfohlen. Nach Beweisen für die Sicherheit der Methoden sucht man aber vergebens. Ich kann mir, wie gesagt, einen anderen Weg, die Zuverlässigkeit einer für die Praxis bestimmten Methode nachzuweisen, nicht denken, als den, dafs man eine gröfsere Zahl von Personen nach dieser Methode untersucht, und nachher dieselben Personen am Spektralapparat nachprüft, also mit dem unbedingt zuverlässigsten, nur nicht für die allgemeine Praxis geeigneten Verfahren. Kommt es nur auf den Vergleich zweier Methoden an, also etwa auf die Vergleichung einer neuen Methode mit der bisher als zuverlässigste anerkannten, so vereinfacht sich die Aufgabe. Die neue Methode mufs dann, wenn sie den Vergleich bestehen soll, zum mindesten die gleiche Zahl von Farbenblinden bei gleichem Zeitaufwand diagnostizieren lassen. Überlegen ist sie, wenn sie dieselben Farbenblinden wesentlich schneller erkennen läfst oder wenn man mit ihrer Hilfe Farbenblinde findet, die bei der anderen Methode durchgeschlüpft waren.

Man möge mir diese scheinbar selbstverständlichen Bemerkungen verzeihen. Ich möchte mit ihnen die Ablehnung einer Anzahl von Methoden der Farbensinnsprüfung motivieren, die sich grofser Beliebtheit und Verbreitung erfreuen. Ich denke

dabei vor allem an die STILLINGsche Methode, für die das eben Gesagte ganz besonders gilt. Ihr Prinzip ist fein erdacht und im höchsten Grade einleuchtend, ihre Anwendung einfach, die Aufgabe für Untersucher und Untersuchte eine leichte. Auf diesen so stark für STILLINGS Tafeln sprechenden Momenten mag es wohl beruhen, dafs anscheinend niemand sich veranlafst sah, die Zuverlässigkeit der Methode zu erproben. Mir wenigstens ist eine Untersuchung, die sicheren Aufschlufs hierüber gäbe, nicht bekannt. An Kritik auf Grund einzelner untersuchter Fälle fehlt es allerdings nicht. Auch ich habe solche u. a. in meiner oben erwähnten Arbeit geübt.

Die Tatsache, dafs die nach STILLING gestellte Diagnose häufig nicht mit der am Spektralapparat zu stellenden übereinstimmte, mufste zur Vorsicht mahnen. Insbesondere die bei Verwendung der Tafeln notwendig erfolgende Gleichstellung von Dichromaten mit einer grofsen Gruppe der Trichromaten war bedenklich und es war zunächst nicht zu erkennen, warum viele Personen, die die Wollprobe glatt bestehen, bei STILLING als farbenblind erschienen.

Die oben erwähnten neuen Untersuchungen haben diese Fragen in gewisser Richtung geklärt, indem sie zeigten, dafs aufser den Dichromaten (Protanopen und Deuteranopen) vor allem die sämtlichen „Anomalen" die Tafeln nicht lesen können.

Ich habe früher auf Grund der Tatsache, dafs die mir bekannten Anomalen die HOLMGRENsche Probe ganz oder nahezu fehlerlos bestanden, geschlossen, es wäre bedenklich, wenn durch Untersuchung mit STILLINGS Tafeln Dichromaten und anomale Trichromaten zusammen geworfen würden. Ich stehe, wie aus den obenstehenden Ausführungen zu entnehmen ist, heute nicht mehr auf diesem Standpunkt. Die Untersuchung von mehreren hundert Anomalen hat mir, wie gesagt, gezeigt, dafs diese wenigstens für die Betätigung im Eisenbahn- und Marinedienst ebenso ungeeignet sind, wie Dichromaten.

Bestehen bleibt indessen zunächst ein Einwand, der weniger STILLINGS Tafeln als seine Art der Diagnosestellung trifft: man kann nicht alle die farbenblind nennen, die STILLINGS Tafeln nicht lesen, bzw. die von der 10. Aufl. die Tafeln 2—9 nicht lesen (Tafel 1 und 10 liest, soweit ich gesehen habe, jeder, der auch nur ganz mäfsige Sehschärfe hat) farbenblind nennen. Mehr als die Hälfte dieser Personen ist nicht farbenblind. Es

deckt sich allerdings die Gruppe derer, die an kleinen farbigen Objekten (Signallaternen etc.) ungenügendes leisten, mit derjenigen der bei Stilling (Tafel 2—9) völlig Versagenden. Aber in beiden Fällen, bei Untersuchung mit Stillings Tafeln wie bei der Untersuchung mit kleinsten farbigen Lichtpunkten setzen wir Bedingungen, die als ungewöhnliche zu bezeichnen sind. Derjenige, dessen Farbensinn nur unter diesen Bedingungen versagt, sonst aber keine ohne spezielle Untersuchung auffallende Abnormität zeigt, wird weder von der Wissenschaft als farbenblind anerkannt, noch von Laien so genannt. Darum ist es unzweckmäfsig und wissenschaftlich unzutreffend, wenn man jeden, der Stillings Tafeln nicht lesen kann, farbenblind nennt.

Sachlich wichtiger und nicht recht erklärlich ist, dafs, wie ich schon früher erwähnt habe und auch andere angeben, eine nicht geringe Zahl von Personen mehrere Stillingsche Tafeln, auch der 10. Auflage, nicht lesen können, ohne dafs sie jedoch Dichromaten oder anomale Trichromaten sind. Als sonstigen gemeinsamen Zug bei diesen Personen weifs ich nur den zu nennen, dafs für sie das „reine Gelb“ etwas anders definiert zu sein scheint, als für diejenigen Personen, die Stillings Tafeln glatt lesen. Ich werde hierauf später zurückkommen. Auch in der Einstellung der Rayleigh-Gleichung zeigen sich kleine Differenzen, die aber bei weitem nicht an die Unterschiede zwischen normalen und anomalen Trichromaten heranreichen, vielmehr gegen sie verschwindend klein sind.

Zu den verschiedenen Rätseln, die uns die interessanten Stillingschen Tafeln aufgeben, gehört auch die Frage, warum nachweislich eine nicht ganz kleine Zahl von Personen mit dichromatischem und anomal-trichromatischem Farbensinn die Probe nach Stilling bestehen kann. In meiner Gegenwart haben freilich Dichromaten und Anomale von der 10. Auflage der Tafeln nur wenige Ziffern mühsam erkennen können (aufser den immer leicht gelesenen Tafeln 1 und 10), wenn ich nicht durch ungeeignetes Halten der Tafeln die Möglichkeit gab, durch den verschieden starken Glanz von Ziffern und Grund die Entzifferung vorzunehmen.

Nur der Lokomotivführer Sch., über den ich früher berichtet hatte[1], vermochte fast alle Zahlen zu lesen, obwohl er im zentralen Netzhautgebiet typischer Dichromat war.

[1] *Diese Zeitschrift* **39**, 93, 1905.

Von Interesse sind die Ergebnisse einer Untersuchung an 1778 Unteroffizieren und Mannschaften der Eisenbahnregimenter, die auf Veranlassung der Medizinalabteilung des preufsischen Kriegsministeriums zum Zweck der Entscheidung über die Brauchbarkeit meiner Farbentafeln unternommen worden waren. Obwohl alle diese Leute mindestens einmal nach HOLMGREN, die Mehrzahl auch nach STILLING ein- oder mehrmals untersucht worden waren (das Personal der Betriebsabteilung sogar mehrmals nach HOLMGREN und STILLING), fanden die mit der Nachuntersuchung betrauten Militärärzte noch 13 Dichromaten und 31 Anomale (5 Protanopen, 8 Deuteranopen, 5 Rotanomale, 26 Grünanomale). Die Diagnose konnte ich in allen Fällen am Farbenmischapparat bestätigen.

Bei einer von der Eisenbahnverwaltung veranstalteten Untersuchung des Personals der Berliner Stadtbahn nach STILLINGS Methode ergab sich auch eine nicht geringe Zahl von Personen, die die Probe mindestens teilweise bestanden hatten, aber in Wirklichkeit Dichromaten oder Anomale waren.

Dieses Durchschlüpfen von Dichromaten durch die STILLINGsche Probe kann ich mir nur erklären: 1. durch Vorliegen ähnlicher Verhältnisse wie bei dem oben erwähnten Lokomotivführer, d. h. überlegenen Farbensinn der Netzhautperipherie bei gleichzeitiger Benutzung gröfserer Netzhautflächen, oder 2. durch Verwertung des Glanzes der Ziffern auf STILLINGS Tafeln, oder 3. durch grobe Fehler in der Untersuchung.

Letzteres Moment wird sich bei keiner Methode sicher ausschliefsen lassen, Punkt 2 scheint technisch nicht zu vermeiden zu sein, da er bei alten und neuen Auflagen der Tafeln von verschiedenen Autoren kritisch erwähnt wird. Ob und wieweit etwa der unter 1. erwähnte Umstand die Fehler mitbedingt hat, läfst sich zurzeit nicht sicher sagen. Kämen solche Fälle wie der des Lokomotivführers SCH. häufiger vor, so spräche das noch entschiedener gegen die Verwendbarkeit der STILLINGschen Tafeln zur amtlichen Untersuchung als die Unentzifferbarkeit einiger Tafeln für Normale.

Ich möchte auf Grund der neueren Erfahrungen meine persönliche Ansicht über den diagnostischen Wert des STILLINGschen Verfahrens dahin zusammenfassen, dafs es als einziges, ausschlaggebendes entschieden unzulässig ist, dafs es dagegen als unterstützendes, vielleicht der Hauptuntersuchung voraus-

gehendes Untersuchungsverfahren nur nützlich sein kann. Ich würde auch empfehlen, der Untersuchung nach meinem Verfahren (mit meinen Farbentafeln) die Untersuchung mittels STILLINGscher Tafeln vorauszuschicken, sofern dazu Zeit ist; ein Zögern oder Versagen bei dem Entziffern der STILLINGschen Tafeln würde den Untersucher zur Vorsicht bei der weiteren Untersuchung mahnen. Da jedoch die nur zu bekannte Neigung vieler Ärzte, die als einfachste empfohlenen Proben noch weiter zu „vereinfachen" (z. B. bei der Wollprobe nur mit rosa zu prüfen, wodurch die Probe ganz wertlos wird), vielleicht dazu führen könnte, dafs sich manche bei der so bequemen Untersuchung nach STILLING beruhigen und hiernach Diagnose stellen, habe ich mich nicht entschliefsen können, den Behörden die STILLINGsche Probe als Vorprobe zu empfehlen, was mir sonst nahegelegen hätte. Die Eisenbahn-, Armee- und Marinebehörden haben sich nach Prüfung der Frage durch verschiedene Sachverständige entschlossen, meiner Auffassung beizutreten, und nur meine Tafeln einzuführen, von denen weiter unten zu sprechen sein wird.

Neben den bisher erwähnten Methoden erfreut sich noch die Florkontrastmethode der Anerkennung in weiteren Kreisen. Sie ist von PFLÜGER[1] in eine zur Diagnostik bestimmte Form gebracht worden, und H. COHN[2] hat das ziemlich teure PFLÜGERsche Buch durch eine äufserst kompendiöse und entsprechend billige Tafel ersetzt. Auf das Prinzip der Methode einzugehen, kann ich hier wohl unterlassen, da es sehr bekannt ist. COHN wie PFLÜGER haben in ihren Tafeln wissenschaftlich interessante und technisch sehr anerkennenswerte diagnostische Hilfsmittel geliefert, die sich aber zur entscheidenden Diagnosestellung, vollends als einziges Verfahren, absolut nicht eignen. Die Begründung dieser meiner Ansicht brauche ich nicht zu wiederholen, da sich verschiedene Autoren in ganz ähnlichem Sinne ausgesprochen haben, wie ich in den oben zitierten Arbeiten.[3] Man würde bei Verwertung selbst der technisch sehr gut gelungenen neuesten COHNschen Tafel viele Personen als

[1] E. PFLÜGER, Tafeln zur Bestimmung der Farbenblindheit. Bern 1880.

[2] H. COHN, Täfelchen zur Prüfung feineren Farbensinns. Berlin 1900.

[3] So auch ganz neuerdings COLLIN (Zur Kenntnis und Diagnose der angeborenen Farbensinnsstörungen, Heft 32 der Veröffentlichungen aus dem Gebiet des Militärsanitätswesens. 1906).

farbenblind oder farbenschwach bezeichnen müssen, die tatsächlich nicht nur an grofsen, sondern auch an ganz kleinen farbigen Objekten sich als vollkommen farbentüchtig erweisen. In dem Prinzip der Farbensinnsprüfung mittels des Florkontrastes liegen eben womöglich noch mehr Komplikationen als in dem der pseudoisochromatischen Tafeln Stillings. Am auffallendsten ist die Tatsache, dafs die anomalen Trichromaten, bei denen der Simultankontrast im Farbenpaar Grün-Rot, wie erwähnt, gegenüber der Norm gesteigert erscheint, sobald es sich um gesättigte Farben in scharf begrenzten Feldern handelt, bei der Meyerschen Florkontrastanordnung (ungesättigte Farben mit unscharfen Grenzen) die Kontrastfarbe schlechter als der Normale sehen. Hierauf bezügliche Experimentaluntersuchungen, die im physikalischen Laboratorium des Berliner physiologischen Instituts gegenwärtig ausgeführt werden, bringen hoffentlich die erwünschte Aufklärung.

Als eine mit manchen Vorteilen ausgestattete Methode erscheint mir die Daaesche[1], die bekanntlich auf der Verwendung einer Tafel beruht, auf welcher bunte Wollfäden in 10 Reihen angeordnet sind, und zwar einzelne Reihen nur aus verschiedenen Schattierungen einer und derselben Farbe bestehend, die Mehrzahl aus verschiedenfarbigen Fäden zusammengesetzt. Ein Nachteil besteht, wie ich schon früher hervorgehoben habe, darin, dafs seltsamerweise die wirklich einfarbigen Reihen von einem Ende zum anderen in der Helligkeit gleichmäfsig abgestuft sind und sich dadurch auch für den Farbenblinden von den übrigen Reihen scharf abheben, in denen helle und dunkle Farben regellos wechseln. Auch sind die hier zusammengestellten Farben nicht die richtigen Verwechslungsfarben irgend eines Typus von Farbenblindheit. Diesen Mängeln liefse sich leicht abhelfen. Prinzipiell unrichtig finde ich die Zusammenordnung aller Farbenproben auf einer Tafel, wodurch das Auswendiglernen überaus leicht gemacht ist.

5. Neue pseudoisochromatische Tafeln.

Den bisher genannten Verfahren zur Diagnose der Farbenblindheit, die unter den bekannt gegebenen die relativ besten sein dürften, schienen mir auch jetzt, nach 7 jähriger gründlicher

[1] Die Farbenblindheit und deren Erkennung. Nach A. Daae, übersetzt von M. Saenger. 3. Aufl.

Erprobung, meine pseudoisochromatischen Tafeln aus dem Jahre 1898 doch überlegen, sowohl was Leichtigkeit, besonders aber was Sicherheit der erzielten Diagnose betrifft. Sie sind ja wohl hinlänglich bekannt, so dafs ich auf ihr Prinzip nicht einzugehen brauche. Erwähnt sei nur, dafs bei ihrer Konstruktion eine Anlehnung an STILLINGS Tafeln insofern erfolgt ist, als Verwechselungsfarben in verschiedenen Helligkeitsstufen, durch Farbendruck hergestellt, dargeboten werden; mit der DAAEschen Tafel haben sie den Vorzug vor den STILLINGschen gemein, dafs die Zusammenordnung der farbigen Punkte zu Buchstaben oder Zahlen wegfällt, und dadurch die übergrofse Empfindlichkeit gegen kleine Fehler im Farbendruck, aufserdem auch die Abhängigkeit von der Geschwindigkeit der Farbenperzeption eliminiert ist. Der Farbendruck erscheint gegenüber der Wollstickerei zweckmäfsiger, weil er feinere Abstufungen und handlichere Tafeln gestattet. Ich hielt es daher für das zweckmäfsigste, das von der Eisenbahnverwaltung gewünschte neue Verfahren, das die Ermittelung aller Farbenuntüchtigen gestatten soll, wenn irgend möglich auf dem gleichen Prinzip zu begründen. Dies erwies sich als möglich und so kam es zu der Neuausgabe der Tafelsammlung. Herbst 1905 erschien die (nicht in den Handel gelangte) zweite Auflage, die von einigen Behörden zu Versuchszwecken benutzt wurde, Anfang 1906 dann die dritte Auflage, deren Bestand von 5000 Exemplaren in zwei Monaten abgesetzt war, so dafs zur Zeit dieser Niederschrift die vierte (gegen die dritte unveränderte) Auflage ausgegeben werden mufste.

Da sich bei den vorhergehenden Untersuchungen, welche die Eisenbahnverwaltung hatte anstellen lassen, gezeigt hatte, dafs die Bahnangestellten, die vor einer Farbensinnsprüfung standen, durch intensive Einübung auf die Wollprobe oder die STILLINGsche Probe nicht selten die Gewinnung sicherer Resultate wesentlich erschwert hatten, wurde beschlossen und durch Vertrag zwischen der Eisenbahnverwaltung und dem Herausgeber der Tafeln einerseits und der Verlagsbuchhandlung J. F. Bergmann andererseits letztere verpflichtet, die Tafeln nicht allgemein in den Handel zu bringen, sondern sie nur an Ärzte, ärztliche und wissenschaftliche Anstalten und an Behörden abzugeben.

Im folgenden erlaube ich mir, einige nähere Mitteilungen über die Tafeln zu machen. Der Titel lautet:

Tafeln zur Untersuchung des Farbenunterscheidungs-Vermögens, von Professor Dr. W. Nagel in Berlin. Dritte (vierte) vermehrte Auflage. Verlag von J. F. Bergmann in Wiesbaden. 1906.

Die Sammlung von Tafeln in ihrer neuen Gestalt setzt sich aus zwei Abteilungen A und B zusammen, denen eine genaue Gebrauchsanweisung beigegeben ist.

Die Abteilung A besteht aus 16 Tafeln. Die Mehrzahl von diesen ist eine fast unveränderte Reproduktion der 12 Tafeln der 1. Auflage. Als überflüssig habe ich den ungesättigten Purpur der früheren Tafel 12 weggelassen. Dagegen ist neu hinzugefügt eine Tafel, die den gleichen Purpurton wie die Tafel 3 zeigt, dazwischen aber 2 graue Punkte, die für den Dichromaten in der gleichen Farbe wie der Purpur erscheinen. Aufserdem sind mehrere neue Tafeln mit dem diagnostisch besonders wichtigen Paar von Verwechslungsfarben, Grau und Grün hinzugefügt, während früher nur Tafel 4 diese Farbenzusammenstellung enthielt. Auf Tafel 16 ist das Grün so ungesättigt genommen, dafs auch mancher nicht Farbenblinde oder Nichtanomale die Tafel für einfarbig grau bezeichnet. Diese Tafel ist ein Reagens auf wirklich gutes Unterscheidungsvermögen für Farbentöne. Personen, deren Farbensinn sich in jeder Hinsicht als gut erwiesen hat, haben bei mir Tafel 16 nie für ganz grau erklärt, wohl aber solche, die auch sonst zuweilen kleine Unsicherheiten aufweisen, ohne dafs man aber von „schwachem Farbensinn“ hätte reden mögen. Diese kleinen Differenzen innerhalb der grofsen Gruppe der als „farbentüchtig“ bezeichneten Personen bedürfen noch der näheren Aufklärung.

Neu ist auch eine Tafel (Nr. 12) mit gelbgrün und gelbbraun in je zwei Schattierungen.

Die Abteilung B der Tafelsammlung besteht aus nur 4 Tafeln, von denen die erste (B I) identisch ist mit A 12.

B 2 und B 3, unter sich fast gleich, enthalten aufser einem lebhaften Rot ein reines Braun in zwei verschiedenen Helligkeitsstufen. B 4 endlich besteht aus Rot und zweierlei Schattierungen eines kräftigen Grün.

Die Gebrauchsanweisung, die den Tafeln beigegeben ist, hier zu rekapitulieren, dürfte überflüssig sein. Dagegen möchte ich in Kürze die Grundsätze angeben, die der Konstruktion der

Tafeln selbst und der Fassung der Gebrauchsanweisung zugrunde liegen.

In Abteilung A sind, wie in der ersten Auflage, die Farben Rot und Grün in solchen Schattierungen gewählt, dafs sie für den Rotgrünblinden beider Typen dem Grau, das auf vielen Tafeln enthalten ist, gleich aussehen. Die Mehrzahl aller Tafeln, und gerade auch diejenigen, auf denen für den Farbentüchtigen das Rot oder Grün besonders hervorsticht, erscheinen dem Dichromaten farblos, grau, in verschiedenen Schattierungen, zuweilen mit einem Stich ins Gelbliche (1 und 16). Auffallend ist ihm nur ein bläulicher Ton auf einzelnen Punkten der Tafeln 8 und 11. Ganz scharf sticht für jeden Rotgrünblinden das Gelbgrün der Tafeln 6, 11 und 12 von allen übrigen Farben ab. Es ist ihm die einzige kräftige Farbe in der Abteilung A überhaupt.

Daher kommt es auch, dafs bei der ersten Frage: „auf welcher Tafel sind rote oder rötliche Punkte zu sehen“ fast ausnahmslos jeder unbefangene Dichromat, der die Tafeln noch nicht kennt, die Tafeln 6 und 11, meistens auch 12 nennt. Bei der Frage nach der Tafel mit n u r roten Punkten wird dann häufig Tafel 12 gezeigt, da das Gelbgrün und das Gelbbraun beide mit Rot Gleichung geben können.

Ein Farbenblinder, der schon weifs, dafs die gelbgrünen Punkte nicht rot sind und sich daher vor der falschen Angabe hütet, ist auf reines Raten angewiesen. Dasselbe ist natürlich bei der Frage nach Grün oder Grau der Fall.

Bei richtiger, der Gebrauchsanweisung genau entsprechender Untersuchung erkennt man auch die a n o m a l e n T r i c h r o m a t e n schon fast stets bereits im ersten Teil der Prüfung. Die Frage nach den roten Punkten bestehen allerdings sowohl die Rot- wie die Grünanomalen beinahe immer, zuweilen fast ohne Zögern. Bei der Frage nach „n u r Grün“, oder „n u r Grau“ werden sie dagegen gleich unsicher, und zeigen häufig auf solche Tafeln, auf denen grün und grau zugleich ist. Wenn eine solche auch nur vorübergehend für einfarbig gehalten wird (mit Ausnahme der oben erwähnten Tafel 16), oder auch nur die Neigung erkennbar ist, bei der Auswahl von Grün oder Grau wesentlich vorsichtiger und langsamer vorzugehen, als bei dem Heraussuchen des Rot, so ist das schon immer verdächtig und fordert zur Vorsicht auf. Man läfst sich dann möglichst

schnell alle Tafeln zeigen, die Grün, und dann alle die Grau enthalten.

Wer eine der Tafeln mit Grau und Grün (4, 13, 14) für einfarbig wählt und den Irrtum nicht sogleich selbst bemerkt, oder wer auf der Tafel 5 Grau oder auf 9 Grün zu sehen behauptet, ist sicher kein normaler Trichromat, also farbenuntüchtig. Er braucht kein Dichromat zu sein, einen solchen kann man vielmehr erst diagnostizieren, wenn auch im Rot Fehler gemacht werden.

Abteilung B läfst ebenfalls den Unterschied der Dichromaten und der Anomalen scharf hervortreten und beide leicht vom Normalen unterscheiden. Der Untersuchte hat in diesem zweiten Teil der Prüfung Farbennamen zu nennen, wobei aber, wie bei meinem Farbengleichungsapparat, die Benennung nur als Indikator dafür dienen soll, ob der Untersuchte die Zusammensetzung der Ringe aus m e h r e r e n Farben bemerkt.

Für den Dichromaten sind nämlich die Tafeln B 1, B 2 und B 3 einfarbig und zwar für den Deuteranopen (Grünblinden) auch fast ohne Helligkeitsunterschiede der einzelnen Punkte, während sich für den Protanopen (Rotblinden) die roten Punkte dunkel gegenüber dem Braun abheben. Charakteristisch ist das Verhalten der Anomalen gegen die Tafeln B 1 bis B 3. Manche, die zu den von mir oben so genannten extremen Anomalen gehören, zeigen sich schon bei B 1 als abnorm; nach der Farbe der Tafel gefragt, bezeichnen sie sie kurzweg als grün, seltener auch als braun oder gelb; jedenfalls geben sie durch ihre Ausdrucksweise zu erkennen, dafs sie nur einerlei Farbe sehen. Hierin gleichen sie den Dichromaten.

Tafel B 2 und 3 nennt der Anomale, vor allem der Grünanomale, wenn er unbefangen an die Probe herantritt, „rot und grün“. Es tritt hier die oben (S. 261) erwähnte Erscheinung in Wirkung, dafs kräftiges Rot oder kräftiges Grün einem daneben sichtbaren neutralen Grau oder Braun eine mehr oder weniger deutliche Beimischung der Komplementärfarbe geben. Das Braun der Tafel B 2, isoliert gezeigt, nennen die Anomalen richtig braun, neben dem Rot nennen sie es grün.

Ich sagte, der u n b e f a n g e n e Anomale reagiere so; wer einmal darüber belehrt worden ist, dafs er sich hierbei geirrt hat, oder wer überhaupt die Tatsache der Kontraststeigerung bei sich kennt (wie eine Anzahl meiner Mitarbeiter), der vermeidet

gerne die Bezeichnung grün. Das Grün ist eben für den Anomalen eine so wenig ausgesprochene Farbe, unterscheidet sich so wenig von Grau oder Braun, daſs er diese Benennung gewissermaſsen instinktiv nur mit Vorsicht und Zögern anwendet. Ich habe indessen noch keinen Grünanomalen gefunden (auſser den mit dem Prinzip meiner Untersuchung vertrauten Personen), der sich nicht bei Vorlegung der Tafel B 2 oder B 3 sofort prompt verraten hätte. Bei Rotanomalen hat dagegen dieser Teil der Probe einigemale versagt, sie benannten das Braun richtig oder als grau. Das beweist nicht, daſs der Farbenkontrast bei ihnen geringer sei als beim Grünanomalen; das Rot hat für den Rotanomalen wie für den Rotblinden einen sehr herabgesetzten Reizwert und es läſst sich im Farbendruck ein so lichtstarkes und dabei reines Rot nicht herstellen, das den Farbenkontrast schon auf kleinen Feldern sicher auslöst. An meinem Farbengleichungsapparat, bei welchem durchleuchtete farbige Gläser in Verwendung kommen, ist der gesteigerte Kontrast (Grünerscheinen des Dunkelgelb neben Rot) leicht nachzuweisen. Ein Mangel der Tafeln kann in dem angegebenen Verhalten kaum gefunden werden, da die Rotanomalen erstens sich schon im ersten Teil (A) der Prüfung regelmäſsig erkennen lassen, und sie zweitens auch bei der Tafel B 1 meistens irren und sie für einfarbig erklären.

Aus dem Mitgeteilten ergibt sich, daſs die neuen Tafeln die beiden hauptsächlich in Betracht kommenden Arten von Dichromaten und ebenso die beiden bisher bekannten Arten anomal trichromatischer Systeme zu ermitteln gestatten. Das bei ihrer Konstruktion angestrebte Ziel, die Farbentüchtigen von den Farbenuntüchtigen zu sondern, ist also erreicht. Daſs dabei die Farbenuntüchtigen noch in die deutlich getrennten Gruppen der Dichromaten und anomalen Trichromaten zerfallen, ist kein Schaden. Die Tafeln sind zwar, — das möchte ich jeden Beurteiler zu berücksichtigen bitten —, zunächst ausschlieſslich für die Bedürfnisse der Farbensinnsprüfung bei Eisenbahn- und Marinepersonal konstruiert und es ist deshalb auf Beigabe einzelner weiterer Tafeln und auf ausführlicheren Text verzichtet worden, Ergänzungen, die für den Gebrauch in Kliniken und physiologischen Laboratorien immerhin wünschenswert sein könnten.

Insbesondere ist bei den Tafeln keine spezielle Rücksicht auf die Untersuchung erworbener Farbensinnsstörungen genommen worden, zu denen sie sich zum Teil wegen des kleinen Gesichts-

winkels der farbigen Objekte, zum Teil auch wegen der absichtlich beschränkten Zahl der benutzten Farbentöne nicht sonderlich eignen. Für diesen Zweck haben wir hier im allgemeinen die Verwendung meines Farbengleichungsapparats zweckmäfsiger gefunden, und ich möchte, wie COLLIN[1], glauben, dafs dieser Apparat event. nach noch weiterer Verbesserung für die Diagnose erworbener Farbensinnsstörungen nützlich sein kann.

Auch für Ermittelung von Tritanopie (Violettblindheit oder Blaugelbblindheit) sind meine Tafeln nicht als sicheres Hilfsmittel zu betrachten. Unsere Erfahrungen über diese Anomalien sind doch noch nicht genügend, um mit ähnlicher Sicherheit wie bei den anderen Anomalien ein diagnostisches Verfahren angeben zu können. Immerhin möchte ich nicht unterlassen zu erwähnen, dafs mir die Tafeln A 6 und 11 doch schon zweimal gute Dienste geleistet haben: sie gaben bei dem durch PIPER[2] veröffentlichten Fall von Tritanopie den ersten Hinweis auf diese Störung. Auch bei der Untersuchung einer Kompagnie Seesoldaten in Kiel fand ich einen Mann, der höchst wahrscheinlich Tritanop ist. Er konnte auf A 6 und A 11 nichts Blaugrünes erkennen und nannte das Braun auf B 2 und 3 rot.

Nicht berücksichtigt ist ferner bei den Tafeln die Möglichkeit der Simulation. Für die Zwecke der Eisenbahn, in deren Interesse die Tafeln ja konstruiert wurden, waren besondere Tafeln zur Entlarvung von Simulanten überflüssig, da kaum Umstände eintreten können, unter denen ein Angestellter der Eisenbahn veranlafst ist, Farbensinnsstörung zu simulieren. Sollte ein Angestellter ein Eisenbahnunglück verschuldet haben und (was höchst unwahrscheinlich ist) Farbenblindheit als Milderungsgrund vorschieben wollen, so würde er doch sicherlich einem Bahnaugenarzt zugeführt und von diesem bei so ernster Sachlage aufs sorgfältigste nach verschiedenen Methoden untersucht werden müssen.

Näherliegend ist Simulation bei den Marinemannschaften, da wegen der getrennten Aushebungsgebiete Farbenblindheit (wie mir gesagt wurde) nicht nur vom Marinedienst, sondern auch vom Militärdienst überhaupt befreit. Da aber von seiten der zuständigen Behörden hierauf kein Gewicht gelegt wurde, habe

---

[1] a. a. O.

[2] *Diese Zeitschrift* **40**.

ich die Einfügung von Tafeln zur Simulantenentlarvung unterlassen.

Was die Zeit betrifft, die zur Untersuchung der einzelnen Person mittels der Tafeln nötig ist, so haben wir diese bei den Marinemannschaften in Kiel, sowie bei Mannschaften der Eisenbahnregimenter zu 50 Sekunden im Durchschnitt bestimmt, für den Fall, dafs es sich nicht um ganz ungewöhnlich stumpfsinnige oder ängstliche Individuen handelte und dafs streng nach der Gebrauchsanweisung alle Fragen gestellt würden. Bei intelligenten Personen mit sehr gutem Farbensinn kommt man mit 30 Sekunden aus. In Maximo kann für einen geübten Untersucher die Prüfung bis zwei Minuten in Anspruch nehmen.

Eisenbahn, Armee und Marine legen begreiflicherweise keinen Wert auf die Feststellung der Frage, ob ein als farbenblind Befundener dem Typus der Protanopen (Rotblinden) oder Deuteranopen (Grünblinden) zugehört, ebenso ob ein Anomaler rotanomal oder grünanomal ist. Um aber doch die Möglichkeit dieser Feststellung zu geben, habe ich die Tafel B 4 beigefügt, die bei den gewöhnlichen Untersuchungen nicht mit benutzt werden sollte. Sie enthält kräftiges Karminrot neben Grün von zweierlei Helligkeitsstufen. Rot und Dunkelgrün sind in ihrem Helligkeitsverhältnis so gewählt, dafs für die Rotblinden und Rotanomalen ersteres, für die Grünblinden und Grünanomalen letzteres als das Dunklere erscheint. Während der Farbentüchtige eine solche „heterochrome“ Helligkeitsvergleichung nur ungern und unsicher ausgeführt, erscheint für den Farbenuntüchtigen die Aufgabe, die „hellere“ oder „dunklere“ der beiden Farben zu nennen, einfach und leicht. Auch B 2 und B 3 eignen sich zur Differenzialdiagnose: braun und rot sind für den Grünblinden (bzw. Grünanomalen) fast gleich hell, für den Rotblinden (bzw. Rotanomalen) das Rot deutlich dunkler.

Ich wage zu hoffen, dafs mit der Einführung der neuen Methode die Zahl der Fälle von unerkannter Farbenblindheit unter den Eisenbahnbediensteten und in Armee und Marine beträchtlich heruntergehen wird und seltener als früher die höchst unerfreuliche Situation eintreten wird, dafs ein Mann nach 10—12 jährigem Dienst plötzlich wegen angeborener, aber bisher unerkannter Farbenblindheit aus seiner Stellung entlassen werden und in einen anderen Berufszweig geschoben werden mufs. Man wird ja nicht hoffen dürfen, dafs alle Fehldiagnosen aufhören;

von den Fehldiagnosen, die bisher vorkamen, war gewifs ein nennenswerter Teil nicht auf Rechnung des offiziell eingeführten Verfahrens, sondern auf Rechnung der Art zu setzen, wie sich die Untersucher die Gebrauchsanweisung ansahen und wie sie sie befolgten. Das wird auch bei dem neuen Verfahren nicht ganz ausbleiben und für die Ergebnisse ungünstig wirken. Am meisten zu warnen ist vor der Meinung, das Verfahren könne noch wesentlich vereinfacht werden. Die sog. Vereinfachungen und Verbesserungen an Holmgrens Methode sollten als warnendes Exempel dienen.

Die Mängel, die seinem Verfahren anhaften, wurden durch die „Verbesserungen“ nicht beseitigt: der zu grofse Gesichtswinkel der farbigen Objekte und die Notwendigkeit für den Untersuchten, selbst mit Hand anzulegen und eine Auswahl zu treffen.

Diese beiden Schattenseiten sind bei dem neuen Verfahren beseitigt, die Objekte sind klein genug, um überwiegend das foveale Sehen zu prüfen; die charakteristischen Farbenverwechselungen sind dem Farbenblinden abgenommen, sie liegen auf den einzelnen Tafeln schon fertig vor und der Untersuchte hat nichts weiter zu tun, als auf die Tafeln zu zeigen, die ihm die vom Untersucher verlangten Farben zu zeigen scheinen. Die Farbenzusammenstellungen auf den Tafeln sind, wie man leicht erkennt, fast genau den von Holmgren gefundenen und abgebildeten Gruppen von Verwechselungsfarben [1] entsprechend, nur bei meinen Tafeln im allgemeinen aus kräftigeren und gesättigteren Farben bestehend.

Die Untersuchung mit den Tafeln bietet also Vorteile, die nicht zu erzielen waren, solange man an den Holmgrenschen grofsen Wollbündeln festhielt, die dagegen in den Methoden von Daae und Stilling schon bis zu einem gewissen Grade ausgenützt waren.

Es wird nicht überflüssig sein, auch an dieser Stelle auf einige allgemeine Verhaltungsmafsregeln hinzuweisen, die für die Gewinnung sicherer Untersuchungsergebnisse beachtet werden müssen. Sie teilen sich deutlich in solche, welche bei meinen und bei dem Holmgrenschen Verfahren in gleicher Weise zu beachten sind (1—3), und in solche, die dem neuen Verfahren eigentümlich sind (4).

[1] F. Holmgren: Om färgblindheten i dess förhållande till jernvägstrafiken och sjöväsendet. Upsala 1877.

1. Die Untersuchung darf nur bei guter Tagesbeleuchtung, nicht in der Dämmerung und nicht bei künstlicher Beleuchtung vorgenommen werden. Dies gilt für alle Methoden, bei denen Pigmentfarben benutzt werden. Ein Verstofs dagegen macht die ganze Prüfung wertlos.

2. Bei der Untersuchung ist alles zu vermeiden, was den Untersuchten einschüchtern oder verwirren könnte. Gröfste Ruhe und Selbstbeherrschung des Untersuchers ist eine Grundbedingung für schnelle und zuverlässige Prüfung.

3. Wenn mehrere Personen zu prüfen sind, ist es besser, wenn sie getrennt untersucht werden. Jedenfalls dürfen die anderen Personen nicht bei der Prüfung der ersten direkt zusehen.

4. Da es auf Prüfung des fovealen Sehens ankommt, ist es sehr wichtig, dafs die Tafeln aus angemessener Entfernung betrachtet werden, am besten aus $^3/_4$ m Abstand, mindestens aber aus $^1/_2$ m. Wenn die Tafeln auf dem Tisch ausgebreitet sind und der Untersuchte aufrecht vor diesem steht, erhält man einen hinreichenden Abstand. Erheblichere Ametropie mufs hierzu korrigiert sein, was übrigens bei Eisenbahn und Marine weniger in Betracht kommt, da hier eine höhergradige Ametropie oder gar Amblyopie (die das Erkennen der einzelnen farbigen Punkte unmöglich macht) an und für sich schon Dienstuntauglichkeit bedingt.

Die Abteilung B der Tafeln lasse ich aus gröfserer Nähe (ca. 30 cm) betrachten, bei Abteilung A aber halte ich streng darauf, dafs der Untersuchte aufrecht zu stehen hat. Wenn er sich immer wieder versucht fühlt, sich niederzubeugen und die Tafeln aus der Nähe zu betrachten, so ist das (einigermafsen gute Sehschärfe, von $^1/_2$ oder mehr vorausgesetzt) schon ein starker Grund zum Verdacht auf Farbensinnsstörung und fordert zu gründlicher Prüfung auf.

Schliefslich möchte ich noch auf einige Einwände kurz eingehen, die gelegentlich gegen meine Tafeln geltend gemacht worden sind.

Den Einwand Brückners[1], dafs bei der geringen Zahl (12) der Tafeln in der ersten Auflage und bei der Nummerierung auf der Vorderseite der Tafel der Dissimulation (durch Aus-

[1] Gräfe-Saemischs Handbuch der gesamten Augenheilkunde, II. Aufl., IV. Bd., S. 406.

wendiglernen) Vorschub geleistet werde, habe ich bei den neuen Auflagen berücksichtigt: Die Zahl der Tafeln ist erhöht, ganz besonders die der für Dichromaten ähnlich aussehenden, die Nummern sind auf der Rückseite angebracht. Entbehrt werden konnten sie nicht, wegen der Hinweisungen im Text; auch sind sie für den farbenblinden Arzt unentbehrlich.

Einige Kollegen haben Anstofs daran genommen, dafs ich bei Abteilung B Farbennamen nennen lasse. Das ist eine auf Mifsverständnis beruhende Reminiszenz an die Zeit, wo man mit Seebeck und Holmgren Front machen mufste gegen die Farbensinnsprüfung mittels Vorzeigen und Benennenlassen farbiger Papierstücke. Prüfung mit Farbennennung ist zulässig und erfolgreich, wenn man Objekte von kleinem Gesichtswinkel (1° und weniger) verwendet.

Hat man solche kleine farbige Objekte in hinreichend grofser Zahl und Nuancierung, so könnte man durch blofses Vorzeigen und Benennenlassen eine einwandfreie Diagnose (ob farbentüchtig oder farbenuntüchtig) stellen. Aber das würde zeitraubend und mühsam sein. Sehr viel schneller geht es, wenn man immer mehrere Farben nebeneinander zeigt, nach dem Namen fragt und aus der Antwort entnimmt, ob der Untersuchte die qualitativen Unterschiede bemerkt oder nicht. Auf die spezielle Wahl der Namen kommt es sehr wenig an, namentlich bei Braun. Sagt aber jemand von Tafel B 1, sie sei grün und weifs auch auf besondere Nachfrage keine zweite Farbe zu nennen, die neben dem Grün vorhanden ist, so ist das ein deutlicher Beweis für abnormen Farbensinn. Natürlich mufs, wenn nur eine Farbe genannt wird, immer sogleich gefragt werden, ob nicht noch eine andere Farbe da sei, denn Leute, die ängstlich sind, glauben oft schon das ihrige getan zu haben, wenn sie bei B 1 das Grün oder bei B 2 das Rot genannt haben, obgleich sie wohl merken, dafs noch etwas aufserdem da ist. Ich lasse mir, wenn die zweite Farbe erst auf besondere Frage genannt wurde, mit einem Stift anzeigen, wo diese farbigen Punkte sind. Geht das schnell und richtig, so kann man der qualitativen Unterscheidung sicher sein.

Wer daran zweifelt, dafs Farbenbenennung in diesem eingeschränkten Sinne zu richtigen Diagnosen führt, dem möchte ich empfehlen, mit meinem Farbengleichungsapparat Versuche an Normalen und Farbenblinden zu machen. Die ersten zwei

bis drei Fragen und Antworten, ja häufig die erste Antwort des Untersuchten (der nach dem von mir angegebenen Schema geprüft wird) ergeben schon die Diagnose. Es ist eben bei diesem Verfahren auch die Farbenbenennung nur ein Zeichen dafür, ob der Untersuchte die zwei vorgelegten Farben als Gleichung oder als Ungleichung sieht.

Darin liegt ein bedeutungsvoller Unterschied gegen das Verfahren, das von Zeit zu Zeit immer wieder empfohlen wird: die Prüfung der Eisenbahnangestellten „an der Strecke". Dabei wird im allgemeinen nur eine Farbe allein gezeigt, deren Helligkeit und Sättigung nicht abgestuft wird, oder es werden mehrere verschiedenfarbige Bahnlaternen nebeneinander gezeigt. Eine Verbesserung dieses Verfahrens stellt die Prüfung mit der Eversbuschschen Laterne[1] dar, die gestattet, Helligkeit, Sättigung und Gesichtswinkel der farbigen Fläche zu variieren. Prüfung mit mehreren solchen Laternen gleichzeitig, in denen die gezeigten Lichter in zweckentsprechender Weise nach Qualität und Quantität variiert würden, könnte zu sehr guten und sicheren Ergebnissen führen; man verwendete dabei eben auch wieder das Prinzip der Farbengleichungen. Es kann aber wohl keinem Zweifel unterliegen, dafs eine solche Prüfung sehr viel mühsamer und zeitraubender wäre als die Untersuchung mit den Tafeln, die die Farbenverwechselungen farbig zusammengestellt enthalten.

In einer zweiten Hälfte dieser Arbeit werde ich auf die Beziehungen zwischen dichromatischem und anomaltrichromatischem Farbensinn näher eingehen.

---

[1] Vgl. v. *Gräfes Arch. f. Ophthalm.* 50, 1, 1900.

(Eingegangen den 6. Juni 1906.)

(Schlufs folgt.)

Über respiratorische Druckschwankungen in den Nebenhöhlen der Nase.

Von

Dr. HENRICI in Aachen.

(Mit 4 Figuren im Text.)

Die Frage nach dem Luftwechsel in den Nasennebenhöhlen bei der Atmung hat in einer Reihe von Untersuchungen Beantwortung gefunden. Dafs ein Gasaustausch tatsächlich stattfindet, haben alle diese Untersuchungen ergeben, doch gehen die Resultate über die Gröfse des Luftwechsels ziemlich erheblich auseinander. So fanden BRAUNE und CLASEN[1] bei Versuchen an der Leiche, dafs die Druckschwankungen der Luft in den Kieferhöhlen bei der Respiration nur um einige Millimeter Wasser hinter denen in der Nasenhöhle zurückblieben. Für die Nasenhöhle erhielten sie bis zu 60 mm Quecksilber negativen Druck bei der Inspiration und ebenso hohen positiven Druck bei der Exspiration. Dies Ergebnis veranlafste genannte Autoren, der Luftbewegung in den Nebenhöhlen eine wichtige Rolle bei dem Riechakt zuzuschreiben.

Demgegenüber fand SCHEFF[2] bei Versuchen an einem Hunde, dafs bei oberflächlichem Atmen die Flüssigkeit des luftdicht in die Oberkieferhöhle eingeführten Manometers nur leichte zitternde Bewegungen machte, und dafs bei tiefen Atemzügen nur Druckschwankungen von 6—8 mm Wasser auftraten.

Ein Ergebnis, das zwischen beiden eben erwähnten steht, hatte BURCHARDT.[3] Er führte ein Manometer durch eine angebohrte Alveole in die Kieferhöhle luftdicht ein. Bei Atemzügen von 3—4 mm Wasser negativen Druck in der Nasenhöhle zeigte

---

[1] *Zeitschr. f. Anatomie u. Entwicklungsgeschichte* 2, 1877.

[2] *Klin. Zeit- u. Streitschrift* 9 (2). Wien 1895.

[3] *Arch. f. Laryngologie u. Rhinol.* 17 (1). 1905.

das Manometer in der Kieferhöhle 1—2 mm negativen Druck an, bei 60 mm negativem Druck in der Nasenhöhle etwa 20 mm in der Kieferhöhle.

Jedenfalls haben alle diese Zahlen nur einen bedingten Wert. Je nach Gröfse, Lage und Beschaffenheit der Kieferhöhlenöffnung, je nach den anatomischen Verhältnissen in der Nase, besonders in der Umgebung der Nebenhöhlenöffnung, werden sich die Druckschwankungen der Luft in der Nasenhöhle bei der Atmung den Nebenhöhlen in anderer Weise mitteilen. Die Untersuchungen dürfen daher nur den Anspruch erheben, bewiesen zu haben, dafs ein Gasaustausch in den Nebenhöhlen stattfindet und dafs dieser mitunter sehr ergiebig, mitunter nur gering ist.

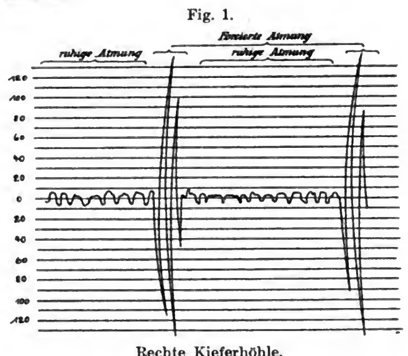
Die Untersuchungen über die Druckschwankungen in den Kieferhöhlen während der Respiration, die ich im Nachstehenden wiedergeben möchte, waren in der Absicht unternommen, eine Lücke der früheren Untersuchungen auszufüllen. Bisher waren diese an der Leiche, am Tier oder am Lebenden von einer künstlichen Öffnung in der Kieferhöhle — N.B. also bei erkrankter oder erkrankt gewesener Kieferhöhle — vorgenommen worden.

Unsere Absicht ging dahin, am Lebenden die natürliche Öffnung der Kieferhöhle im mittleren Nasengang zu den Untersuchungen zu benutzen. Die Versuche habe ich auf Veranlassung und in Gemeinschaft mit Herrn Prof. Nagel im physiologischen Institut in Rostock angestellt. Herr Prof. Nagel war so liebenswürdig, sich selbst zu diesen Versuchen herzugeben. Eine gewisse Geübtheit ist bei diesen Versuchen nicht zu entbehren. Denn es ist bekanntlich nicht leicht, namentlich die gewöhnliche Respiration ungezwungen und gleichmäfsig durchzuführen, wenn man seine Aufmerksamkeit darauf richtet. Die forcierte Atmung wurde jedesmal mit möglichster Energie ausgeführt, jedoch immer in so langsamem Tempo, dafs Schleuderungswirkung an dem Registrierapparat sicher vermieden wurde.

Die Sondierung der Kieferhöhlen liefs sich beiderseits leicht vornehmen, anfangs nach Cocainisierung der Schleimhaut, nach einiger Übung auch ohne solche. Die Öffnung (rechts wie links) war spaltförmig und verhältnismäfsig grofs. Es konnten also die Versuche, wie beabsichtigt, von der natürlichen Öffnung aus gemacht werden. Es dienten dazu Kanülen, deren vorderes Ende um $1^1/_2$ cm rechtwinkelig abgebogen war und deren lichte Weite 2 mm betrug. Durch einen Gummischlauch war die Kanüle mit

einem MAREYschen Tambour verbunden, der die Druckschwankungen auf einer Kymographiontrommel aufzeichnete. Vor und nach den Versuchen wurde jedesmal der Tambour geaicht, so dafs die Druckwerte direkt in Millimeter Wassersäule angegeben werden konnten. In den nachstehenden Figuren 1—4 sind einige der gewonnenen Kurven reproduziert. Die Zahlen geben die Millimeter Wasser an.

Fig. 1.



Rechte Kieferhöhle.

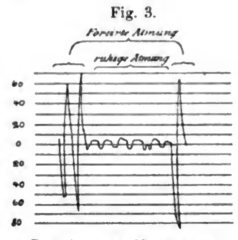
Fig. 2.

Linke Kieferhöhle.

Die anatomischen Verhältnisse der Nase gestatteten es, die Kanülenspitze bis zur Umbiegungsstelle, also $1^1/_2$ cm tief in die Kieferhöhle einzubringen.

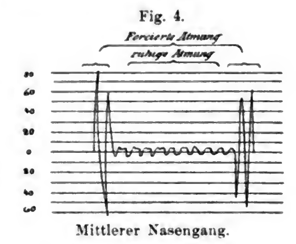
Zum Vergleiche wurden aufserdem Kurven aufgenommen, wenn die Öffnung der Kanüle sich in der Mitte des gemeinsamen Nasenraumes etwa in der Höhe des oberen Randes der unteren Muschel und wenn sie sich im mittleren Nasengang befand.

Fig. 3.



Gemeinsamer Nasenraum (Höhe des oberen Randes der unteren Muskel).

Fig. 4.



Mittlerer Nasengang.

Ein Blick auf die Kurven zeigt, dafs in unserem Falle bei ruhiger Atmung kein wesentlicher Unterschied der Druckschwankungen in Nasen- und Nebenhöhle besteht. Wir sehen die Druckschwankungen sich durchschnittlich zwischen — 5 und + 5 mm Wasser halten.

Bei forcierter Atmung fällt der Druck bei der Inspiration bis auf ca. — 60 bis — 80 mm Wasser, um bei der Exspiration auf ungefähr ebensoviel Überdruck zu steigen. Die Kurven aus dem gemeinschaftlichen Nasenraum, dem mittleren Nasengang und der linken Kieferhöhle geben auch hierbei fast ganz gleiche Bilder. Sofort in die Augen springend ist dagegen der starke Ausschlag bei forcierter Respiration in der Kurve der rechten Kieferhöhle. Hier finden wir Schwankungen von fast — 160 mm bis + 160 mm Aqua.

Zur Erklärung hierfür könnte man annehmen, dafs bei diesem Versuch zufällig die In- und Exspirationen besonders stark ausgefallen sind. Nach der Kurve müfsten sie aber mindestens doppelt so stark, wie die anderen Male ausgeführt worden sein. Nun waren aber jedesmal die forcierten Atmungen nach Möglichkeit mit ausgiebigster Kraft gemacht worden. Es erscheint daher von vorneherein ausgeschlossen, dafs hier die Atemzüge zufällig noch über doppelt so stark ausgefallen sein sollten. Wir müssen vielmehr nach anderen Momenten suchen, welche zur Vergröfserung der Druckschwankung beigetragen haben können. Nun bildet einmal die Kieferhöhle einen von starren Wänden eingeschlossenen Hohlraum mit nur einer Öffnung, während die Nasenhöhle mehr einer bauchigen Röhre

gleicht, die mit 2 entgegengesetzt liegenden Öffnungen versehen ist. In dieser Röhre wird sich der negative Druck durch die frei nachströmende Luft rascher ausgleichen können und darum im gegebenen Falle nicht solche Dimensionen anzunehmen brauchen, als in der Kieferhöhle, wo der Ausgleich der Druckdifferenz durch die eine Öffnung erfolgen mufs.

Dann aber — und das scheint mir das Hauptmoment zu sein — wirkt die an der Kieferhöhlenöffnung vorbeiströmende Luft ansaugend auf die Luft im Sinus maxillaris. Wir hätten hier also dieselben Verhältnisse, wie bei einer Wasserstrahlsaugpumpe, wo das stürzende Wasser aus einem Glaskolben die Luft mit sich fortreifst. In der Tat ist auch die Kieferhöhle an die Nasenhöhle seitlich ähnlich angeschlossen, wie der zu evakuierende Glaskolben an die Saugpumpe.

Die anatomischen Verhältnisse in der Nase begünstigen dazu augenscheinlich das Inkrafttreten der Saugwirkung. Der wie ein Damm schützend vor der Kieferhöhlenöffnung schräg vorragende Processus uncinatus des Siebbeins leitet die Inspirationsluft an der Kieferhöhlenöffnung vorbei und verhindert so ein Einströmen der Luft in die Höhle. Bei leichten Atemzügen wird sich nun die saugende Kraft des Luftstromes in der Nase kaum bemerkbar machen. Da diese Kraft aber nach einem physikalischen Gesetze im Quadrate zu der zunehmenden Geschwindigkeit des strömenden Mediums wächst, so kann sie bei forcierter Atmung eine ganz bedeutende Gröfse erreichen.

Die eigenartige Erscheinung, dafs unter Umständen bei der Inspiration der negative Druck in der Kieferhöhle gröfser sein kann, als in der Haupthöhle der Nase, fände so ihre ungezwungene Erklärung.

Nun zeigt uns aber auch die Kurve einen starken Überdruck bei der Exspiration. Auch dies Phänomen läfst sich einfach durch die anatomischen Verhältnisse in der Gegend der Kieferhöhlenöffnung erklären. Wie der Processus uncinatus den Luftstrom bei der Inspiration an dem hinter ihm verborgen liegenden Ostium der Kieferhöhle vorbeiführt, so fängt er ihn umgekehrt bei der Exspiration auf und leitet ihn geradezu in den Sinus maxillaris hinein. Da die Luft in dem allseitig geschlossenen Raume der Highmorshöhle nicht ausweichen kann, so mufs ein starker Überdruck entstehen.

Auf die Möglichkeit der Ansaugung der Luft aus den Nebenhöhlen durch die Luftströmung in der Nase hat bereits FRANKE[1], auf Versuche an einem der Nase nachgebildeten Modelle fufsend, gedacht. SCHEFF[2] und GAULE[3] geben diese Möglichkeit zu, wollen sie aber nur fürs Niesen gelten lassen. Es beruht dies wohl auf einer etwas irrigen Anschauung über den Mechanismus des Niesens. Beim Niesen wird gar nicht besonders forciert durch die Nase eingeatmet, im Gegenteil geschieht dabei die letzte tiefe Inspiration, die übrigens fast immer langsam ausgeführt wird, meist durch den Mund. Ebenso erfolgt die explosionsartige Exspiration fast immer durch den Mund.[4] Aber auch wo er zugehalten wird, geht die Luft nicht durch die Nase, da sie dann meist durch Heben des Gaumensegels abgeschlossen wird. Aufserdem würde dabei, selbst wenn durch die Nase exspiriert wird, nach oben Gesagtem ein starker Überdruck in der Kieferhöhle und nie eine Ansaugung der Luft aus derselben resultieren.

Bei der Versuchsanordnung von BRAUNE und CLASEN[5] ist der Saugwirkung der Luftströmung nicht gedacht worden. Es ist wohl möglich, dafs daraus eine Fehlerquelle entstanden ist. Die enorm hohen Druckdifferenzen von ca. — 60 bis + 60 mm Quecksilber sind vielleicht darauf zurückzuführen. Genannte Autoren führten z. B. in ein Nasenloch luftdicht ein Manometer ein und liefsen durch das andere schnelle und sehr kräftige In- und Exspirationen machen. Andere Versuche stellten sie an der Leiche an, deren Oberkörper sie in der Höhe der Brustwarzen abgetrennt hatten. An die Trachea setzten sie dann ein gleichweites Kautschukrohr an, durch welches ein Mann kräftig in- und exspirierte. Der Mund der Leiche wurde luftdicht verschlossen und in rechtem Nasenloch und rechter Oberkieferhöhle Manometer luftdicht eingebracht. In beiden Versuchsreihen ging also der ganze Luftstrom allein durch die linke Nasenhöhle. Die Weite des Luftweges war also gegenüber dem normalen Zustand auf die Hälfte reduziert. Die Luftströmung mufste dadurch eine

---

[1] *Arch. f. Laryng. u. Rhinol.*, 1893 Bd. I, S. 231.

[2] a. a. O.

[3] *Heymanns Handbuch der Laryng. u. Rhinol.* Bd. III, 1, S. 170.

[4] Vgl. hierzu W. NAGEL, Über das Niesen. *Arch. f. (Anat. u.) Physiologie.* 1905. Suppl. S. 457.

[5] a. a. O.

erhebliche Beschleunigung erfahren, die Saugwirkung derselben infolgedessen stärker sein. Da die rechte Nasenhöhle durch das eingeführte Manometer luftdicht verschlossen war, so stand sie zu dem der Atmung dienenden Luftweg unter gleichen Verhältnissen wie normal die Kieferhöhle allein. Das Ergebnis, welches BRAUNE und CLASEN erzielten, bestätigt dies. Sie hatten für rechte Nasen- und Kieferhöhle bei einigen Versuchen ganz gleiche Druckschwankungen, bei anderen kaum nennenswerte Differenzen, dazu in beiden Höhlen bei forcierter Atmung die auffallend hohen Werte für negativen und positiven Druck.

(Eingegangen am 5. Juni 1906.)

(Aus der physikalischen Abteilung des physiologischen Instituts der Universität Berlin.)

Über Helladaptation.

Von

Dr. med. W. Lohmann,

Assistenzarzt an der Kgl. Universitäts-Augenklinik München.

Der Terminus „Adaptation" des Auges ist von Aubert[1] geprägt und von ihm als Akkomodation für verschiedene Helligkeiten definiert worden. Ebenso wie wir bei der dioptrischen Anpassungsfähigkeit des Auges je nach der brechungserhöhenden bzw. brechungserniedrigenden Gestaltsveränderung der Linse einen positiven und negativen Verlauf dieses Akkomodationsvorganges unterscheiden können, so läfst sich auch die Adaptation in Dunkeladaptation und Helladaptation teilen, je nachdem das Auge für geringere Lichtreize empfindlicher wird, oder umgekehrt diese Empfindlichkeit einbüfst. Als Endpunkt des Spiel raums des Auf- und Absteigens der Adaptation ist einmal die vollkommene Dunkeladaptation aufzufassen, die mefsbar ist durch den kleinsten Lichtreiz, den das Auge nach mehrstündiger Gewöhnung an die absolute Lichtlosigkeit zu percipieren vermag; diesem äufsersten positiven Extrem steht gegenüber der Zustand der vollkommenen Helladaptation, d. i. jener Verfassungsgrad des Auges, jenseits dessen es nicht mehr vermöge seiner diesbezüglichen Umwandlungsfähigkeiten eine Erhöhung der umgebenden Lichtintensität, ohne geblendet zu werden, ertragen kann. Da aber nicht nur die Adaptation von einem Endpunkt lediglich zu dem anderen verläuft, sondern sich auch Adaptationen an die vielen Helligkeiten finden, die zwischen jenen Endpunkten

[1] Aubert, *Physiologie der Netzhaut.* 1865.

gelegen sind, so spräche man vielleicht besser von Dunkel- bzw. Helladaptationen, und verstünde z. B. unter einer Helladaptation die Gewöhnung des Auges an eine bestimmte Helligkeit nach voraufgegangener Gewöhnung an eine geringere Helligkeit, und umgekehrt.

Der erste, der Versuche über den zeitlichen Verlauf der Dunkeladaptation machte, war Aubert. Eine eingehende Kritik seiner Methodik und mithin seiner Resultate findet sich bei Piper[1] und Wölfflin[2]; es kann daher hier auf jene Ausführungen verwiesen werden. Nach Aubert befafsten sich noch Charpentier und Treitel eingehender mit der Eruierung des Adaptationsvorganges. Die Methode Charpentiers geht von einwandsfreieren Gesichtspunkten aus, als dies bei Aubert der Fall war; mithin harmonieren auch seine Untersuchungsergebnisse bedeutend besser mit denen z. B. von Piper.

In neuester Zeit ist auf Veranlassung von Herrn Professor Dr. Nagel die ganze Frage der Adaptation zum Gegenstand erneuter Untersuchungen gemacht worden. So entstanden in der physikal. Abteilung des physiologischen Instituts zu Berlin eine ganze Reihe von Untersuchungen bezüglich des zeitlichen Verlaufes und einzelner Bedingungen der Adaptation. (Es seien genannt: Über Dunkeladaptation von Piper [*Zeitschrift f. Psych. u. Physiol. d. Sinnesorgane* **31**], ferner: Über das Helligkeitsverhältnis monokular und binokular ausgelöster Lichtempfindungen von Piper [*daselbst* **32**], Über die Abhängigkeit des Reizwertes leuchtender Objekte von ihrer Flächen- bzw. Winkelgröfse von Piper [*daselbst* **32**], Über die Beziehungen zwischen Flächengröfse und Reizwert leuchtender Objekte bei fovealer Beobachtung von Löser [*Beiträge zur Augenheilkunde.* Festschrift für Jul. Hirschberg 1905], Einige Beobachtungen über die Wirkung des Druckes und des galvanischen Stromes auf das dunkeladaptierte Auge von W. A. Nagel [*Zeitschrift für Psychol. u. Physiol. der Sinnesorgane* **34**], Über das Verhalten der Netzhautzapfen bei Dunkeladaptation des Auges von Nagel und Schäfer [*daselbst* **34**], Über Fixation im Dämmerungssehen von Simon [*daselbst* **36**], Über den

---

[1] Piper, Über Dunkeladaptation; *Zeitschrift für Psych. u. Physiol. der Sinnesorgane* **31**, S. 161 ff.

[2] Wölfflin, Der Einflufs des Lebensalters auf den Lichtsinn ... usw. v. *Gräfes Archiv für Ophthalmologie* **61**, S. 524 u. ff.

Einfluſs der Dunkeladaptation auf die spezifische Farbenschwelle von Löser [*daselbst* **31**].)

Als Lücke in diesen Versuchsreihen fand sich noch die Frage nach dem zeitlichen Verlauf der Helladaptation, deren Inangriffnahme Herr Professor Dr. Nagel mir übertrug. Hierfür, sowie für seine mannigfaltigen Unterstützungen und Ratschläge, deren ich mich während der Arbeit erfreuen konnte, sei es mir gestattet, auch an dieser Stelle meinen herzlichsten Dank abzustatten. Auch Herrn Dr. R. P. Angier, Assistent am Institut, bin ich für manchen Beistand zu Dank verpflichtet.

Der Grund dafür, daſs Untersuchungen über den zeitlichen Verlauf der Helladaptation in gleicher Weise wie über den Verlauf der Dunkeladaptation bislang nicht veröffentlicht worden sind, ist unschwer in der Tatsache zu erblicken, daſs die Empfindlichkeitszunahme des Auges ein viel gleichmäſsiger sich auf den Verlauf einer, ja mehrerer Stunden erstreckender Prozeſs ist, als dies bei der Empfindlichkeitsabnahme bei der Helladaptation zutrifft, und daſs die letztere namentlich in ihrem ersten Verlauf so schnell sich vollzieht, daſs man bei der Bewertung der einzelnen Phasen während des Verlaufes nicht die genügende Sicherheit gewinnen könnte.

In der Tat kann man nicht alle einzelnen Phasen des zeitlichen Verlaufes der Helladaptation namentlich in ihrem Beginn während des Verlaufes bestimmen; die einzige Möglichkeit, sich eine Vorstellung bzw. ein Maſs dieses Prozesses zu verschaffen, kann nur eine fraktionierte Bestimmung ergeben.

Eine weitere Voraussetzung für die Möglichkeit der Erkennung des negativen Verlaufs der Adaptation ergibt die Überlegung, daſs, wenn beim Übergang von absoluter Lichtlosigkeit zur Tageshelligkeit der Verlauf ein rapider sei, bei geringeren Helligkeiten auch die Empfindlichkeitsabnahme der Retina schwachen Lichtreizen gegenüber zeitlich langsamer, mithin einer messenden Bestimmung sich als zugänglicher erweisen würde. Neben einer fraktionierten Bestimmung wird man also den Verlauf der Adaptation bei meſsbar verschiedenen, mäſsigeren Helligkeiten studieren müssen.

Zu diesen beiden Versuchsvoraussetzungen war noch zunächst eine dritte aus folgendem Umstand in Erwägung zu ziehen. Da die Empfindlichkeitsänderung als eine sehr schnell sich voll-

ziehende zu erwarten war, konnte man nicht damit rechnen, einen Reizwert während der Unterbrechung des Helladaptationsprozesses einzustellen. Man mufste also dafür Sorge tragen, dafs dem Auge abgestufte Lichtreize nebeneinander dargeboten wurden, damit dieses im Moment der Unterbrechung des Helladaptationsvorganges sofort einen bestimmten Lichtreiz als derzeitigen Schwellenwert anerkennen konnte.

Diese drei Gesichtspunkte waren der Ausgangspunkt meiner Bestimmungen über den Helladaptationsvorgang; die Versuchsanordnung, die diesen Bedingungen entsprechen sollte, war folgende:

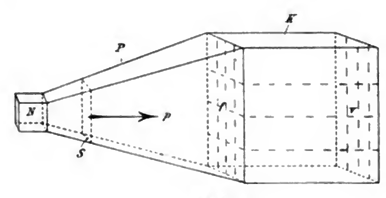


Fig. 1.

Eine Nernstlampe (*N*) war so lichtdicht in die Spitze einer aus Pappdeckel verfertigten Pyramide (*P*) eingelassen, dafs alle Strahlen in der Richtung des Pfeiles (*p*) auf die Hinterseite eines grofsen, würfelförmigen Holzkastens von 50 cm Seitenlänge fielen. Da die Helligkeit der Lichtquelle sich im Verlauf der Versuche als zu grofs erwies, wurde eine Mattscheibe und eine blaue Gelatineplatte (*S*) in das obere Viertel der Pyramide eingefügt. Die Rückseite des Würfels, auf welche die Lichtstrahlen fielen, war in 16 gleichgrofse, quadratische Felder von je 100 □cm eingeteilt; von jedem Feld verlief horizontal nach vorn ein 10 cm hoher und 10 cm breiter Stollen, so dafs die Vorderfläche des Würfels (*v*) ebenfalls in 16 gleichgrofse Felder geteilt war.

Vorn und hinten waren die 16 Felder, bzw. die Öffnungen der horizontalen Stollen mit dünnen weifsem Papier abgeschlossen, wodurch eine gleichmäfsig leuchtende Fläche erzielt wurde. Damit nun die einzelnen Felder verschiedene Lichtintensitäten ausstrahlten, wurden vor die 16 Stollenöffnungen der Hinterseite Quadrate von blauem undurchsichtigem Karton geklebt, aus denen

16 verschiedene Quadrate ausgeschnitten waren. Die Seitenlängen dieser Quadrate betrugen:

	erstes	zweites	drittes	viertes Feld
erste Reihe	10 cm	7,499 cm	5,62 cm	4,21 cm
zweite „	3,16 „	2,372 „	1,778 „	1,29 „
dritte „	1,0 „	0,749 „	0,562 „	0,421 „
vierte „	0,316 „	0.237 „	0,178 „	0,13 „

Die aus diesen Seitenzahlen sich ergebenden Flächengröfsen stellen eine geometrische Reihe dar.

Durch eine oberflächliche[1] Vergleichung mit dem Nagelschen Adaptometer, dessen Beschreibung bei der zweiten Versuchsreihe erfolgen soll, wurden für die Felder folgende relative Werte der Lichtintensitäten berechnet:

	erstes	zweites	drittes	viertes Feld
erste Reihe	1 899 000	1 068 000	599 800	336 500
zweite „	189 600	106 600	60 150	31 600
dritte „	18 990	10 680	5 998	3 365
vierte „	1 896	1 066	601	336

Vor der Vorderfläche des Würfels befand sich in 1 m Entfernung der Beobachter, welcher jeweils durch kurze Drehungen einmal ein 1 □m grofses weifses Kartonblatt, welches durch eine hinter dem Beobachter angebrachte verschiebbare Vorrichtung eines Systems von 3 je 25kerzigen Osmiumlampen verschieden hell beleuchtet werden konnte, und sodann auch nach Auslöschen jener den Karton bestrahlenden Lampen die Vorderfläche des Holzwürfels betrachten konnte.

Die Versuche wurden in folgender Weise angestellt: Nach völliger Dunkeladaptation, die gewöhnlich ³/₄ Stunde dauerte[2], — es wurde, nachdem das 16. Feld gesehen war, noch etwa

[1] Es kam bei dieser ersten Versuchsreihe nicht so sehr auf absolute Mafse als vielmehr auf relative Werte an.

[2] Nach ³/₄ Stunden Dunkeladaptation steigt die Empfindlichkeit nur noch sehr langsam an, nach Beobachtungen von Prof. Nagel immerhin in 16 Stunden noch auf das 3 bis 4fache.

10 Minuten gewartet, — wurden die Augen auf den weifsen Karton gerichtet und der dort herrschenden Lichtstärke exponiert; dies geschah zunächst 1 Min. lang, dann in weiteren Versuchsreihen 2, 3, 6 und 10 Min. lang. Nach jeder Exposition wurden die den Karton bestrahlenden Osmiumlampen schnell gelöscht und das Auge auf die Vorderfläche des Holzkastens und seine 16 Felder gerichtet. Ein Metronom schlug die Sekunden. Bei jeder 10. Sek. wurde das Feld, welches eben noch erkannt wurde, notiert. Hierzu wurden als symbolische Zeichen die Buchstaben a, b, c, d für die erste, zweite, dritte und vierte Reihe angewendet; ihnen wurden als Affixe noch die Zahlen 1, 2, 3, 4 um das erste, zweite, dritte oder vierte Feld der betreffenden Reihe zu bezeichnen, zugegeben. So bedeutet z. B. c_3 das dritte Feld in der dritten Reihe (von der Intensität 5998). Es wurde prinzipiell mit wanderndem Blick beobachtet, und zwar liefs ich den Blick im allgemeinen oberhalb des Feldes hin- und hergehen, dessen Sichtbarkeit oder Nichtsichtbarkeit festzustellen war. In den Stadien der schnellen Adaptation liefs sich diese Absicht natürlich nur unvollkommen verwirklichen, besser in den späteren Stadien, wo der Prozefs der Dunkeladaptation langsamer vor sich geht. Waren im Gesichtsfeld alle Felder der Reihe a aufgetaucht, so wurde Feld a_1 als Orientierungspunkt gewählt, um welchen der Blick schwanken durfte, damit das darunter liegende Feld b leichter gefunden werden konnte. War ebenfalls die Reihe b völlig wahrnehmbar, so wurde schnell mit einem schwarzen Vorhang die Reihe a verhängt und nun mit Hilfe von b als Orientierungspunkt auch c_1 gefunden. War c_1 aufgetaucht, so wurde durch den Vorhang auch die Reihe b verdeckt, und c_1 diente als Ausgangspunkt für die Fixation des Blickes und für die Auffindung der auftauchenden Felder c_2, c_3 usf.

Die Intensität des vom Papier reflektierten Lichtes wurde dadurch variiert, dafs das System der 3 je 25kerzigen Osmiumlampen zunächst 1 m vor dem Karton, dann 2, 4, 5 und $7^1/_2$ m vor ihn aufgestellt wurde. Es waren also, wenn man die Tatsache berücksichtigt, dafs die Intensität eines Lichtes proportional dem Quadrat der Entfernung abnimmt, Beleuchtungsintensitäten von 75, 20, 5, 3, $1^1/_2$ Meterkerzen hergestellt. Da die Wände des Beobachtungsraumes, obwohl mattschwarz gestrichen, doch immer Licht reflektierten, können diese Werte für die Beleuchtungs-

intensitäten nur angenähert richtige sein. Im wesentlichen dürfte es darauf hinauslaufen, dafs die letztgenannten Intensitätswerte relativ etwas zu niedrig sind.

Zwischen je zwei Expositionen wurde jedesmal wieder gewartet, bis völlige Dunkeladaptation erreicht war; sodann wurde die Nernstlampe gelöscht, und zunächst wiederum für die Dauer von 10 Min. das Auge in völliger Lichtlosigkeit gelassen.

Es wurde nur das Auftauchen der einzelnen Felder bis zu c_4 (Schlufs der dritten Reihe) notiert, da das Auftauchen der Felder der vierten Reihe nicht mit der genügenden Präzision festgestellt werden konnte, um in das Schema der Zeiten von je 10 Sek. eingetragen werden zu können; es stellten sich zudem gerade in dieser Reihe häufig subjektive Nebel ein, die ebenfalls eine sekundenmäfsige Fixierung des Auftauchens dieser Reihe unmöglich machten. Da bei den angewendeten Bestrahlungsintensitäten des Kartons nach 10 Sek. mindestens ein Feld der zweiten (b) Reihe sichtbar war, so kamen also praktisch nur die b und die c-Quadrate zur Notierung.

Ergebnisse der ersten Versuchsreihe.

Erster Versuch. — Bestrahlung des Kartons mit dem Osmiumlampensystem aus 1 m Entfernung.

	Dauer der Helladaptation				
	1 Min.	2 Min.	3 Min.	6 Min.	10 Min.
b_1 wurde gesehen nach	— Sek.	— Sek.	— Sek.	— Sek.	— Sek.
b_2 " " "	— "	— "	— "	10 "	10 "
b_3 " " "	— "	10 "	10 "	20 "	20 "
b_4 " " "	10 "	20 "	20 "	30 "	30 "
c_1 " " "	20 "	30 "	40 "	50 "	80 "
c_2 " " "	30 "	40 "	60 "	70 "	90 "
c_3 " " "	50 "	50 "	90 "	110 "	120 "
c_4 " " "	70 "	80 "	110 "	140 "	210 "

Zweiter Versuch. — Bestrahlung des Kartons mit dem Osmiumlampensystem aus 2 m Entfernung.

	Dauer der Helladaptation				
	1 Min.	2 Min.	3 Min.	6 Min.	10 Min.
b_1 wurde gesehen nach	— Sek.	— Sek.	— Sek.	— Sek.	— Sek.
b_2 „ „ „	— „	— „	— „	— „	— „
b_3 „ „ „	— „	— „	10 „	10 „	10 „
b_4 „ „ „	— „	10 „	20 „	20 „	20 „
c_1 „ „ „	10 „	20 „	40 „	40 „	40 „
c_2 „ „ „	20 „	30 „	50 „	50 „	50 „
c_3 „ „ „	30 „	50 „	60 „	60 „	70 „
c_4 „ „ „	40 „	60 „	70 „	80 „	100 „

Dritter Versuch. — Bestrahlung des Kartons mit dem Osmiumlampensystem aus 4 m Entfernung.

	Dauer der Helladaptation				
	1 Min.	2 Min.	3 Min.	6 Min.	10 Min.
b_1 wurde gesehen nach	— Sek.	— Sek.	— Sek.	— Sek.	— Sek.
b_2 „ „ „	— „	— „	— „	— „	— „
b_3 „ „ „	— „	— „	— „	10 „	10 „
b_4 „ „ „	— „	10 „	10 „	20 „	20 „
c_1 „ „ „	— „	20 „	20 „	30 „	30 „
c_2 „ „ „	10 „	30 „	30 „	40 „	40 „
c_3 „ „ „	20 „	40 „	40 „	50 „	60 „
c_4 „ „ „	40 „	60 „	60 „	70 „	80 „

Vierter Versuch. — Bestrahlung des Kartons mit dem Osmiumlampensystem aus 5 m Entfernung.

	Dauer der Helladaptation				
	1 Min.	2 Min.	3 Min.	6 Min.	10 Min.
b_1 wurde gesehen nach	— Sek.	— Sek.	— Sek.	— Sek.	— Sek.
b_2 „ „ „	— „	— „	— „	— „	— „
b_3 „ „ „	— „	— „	— „	— „	— „
b_4 „ „ „	— „	— „	10 „	10 „	10 „
c_1 „ „ „	— „	10 „	20 „	20 „	30 „
c_2 „ „ „	10 „	20 „	30 „	30 „	50 „
c_3 „ „ „	20 „	30 „	40 „	40 „	60 „
c_4 „ „ „	30 „	40 „	50 „	60 „	70 „

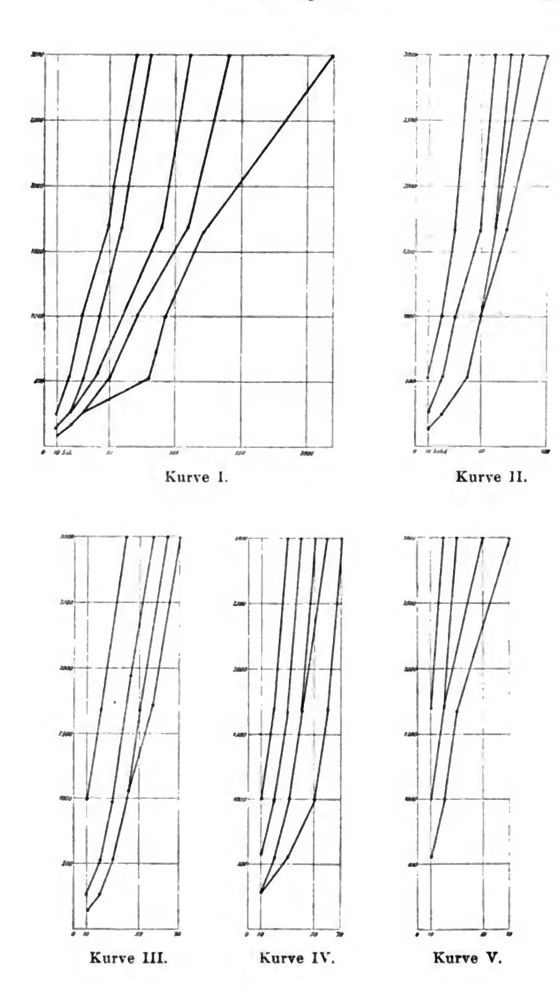
Fünfter Versuch. — Bestrahlung des Kartons mit dem Osmiumlampensystem aus 7½ m Entfernung.

	Dauer der Helladaptation				
	1 Min.	2 Min.	3 Min.	6 Min.	10 Min.
b_1 wurde gesehen nach	— Sek.	— Sek.	— Sek.	— Sek.	— Sek.
b_2 „ „ „	— „	— „	— „	— „	— „
b_3 „ „ „	— „	— „	— „	— „	— „
b_4 „ „ „	— „	— „	— „	— „	— „
c_1 „ „ „	— „	— „	— „	10 „	10 „
c_2 „ „ „	— „	10 „	10 „	20 „	20 „
c_3 „ „ „	10 „	20 „	20 „	30 „	30 „
c_4 „ „ „	20 „	30 „	50 „	70 „	70 „

Die Zahlen der obigen Tabellen drücken die Veränderungen aus, die der Wiederanstieg der Dunkeladaptation nach Einwirkung verschiedener Lichtintensitäten von verschiedener Zeitdauer auf das gut dunkeladaptierte Auge erleidet. Ein viel anschaulicheres Bild, als es die Tabellen zu geben vermögen, wird eine kurvenmäfsige Aufzeichnung ihrer Werte ermöglichen. Um die folgenden Kurven zu verstehen, sei daran erinnert, dafs der Empfindlichkeitswert des Auges umgekehrt proportional der Lichtintensität ist, die es noch eben wahrzunehmen vermag. Wird nach einer gewissen Zeit Dunkeladaptation z. B. eine Lichtintensität percipiert, die nur ¼ der letzt percipierten entspricht, so ist die Empfindlichkeitszunahme der früheren Empfindlichkeit gegenüber eine vierfache. Damit nun nicht mit Brüchen gerechnet werden mufste, sind alle Empfindlichkeitswerte mit 10^7 multipliziert. (Vgl. Piper Über die Dunkeladaptation, *Zeitschrift f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane* **31**, S. 177).

Die Werte der oben mitgeteilten Tabellen sind also in ein System rechtwinkliger Koordinaten eingetragen, deren Abzissen die Sekunden, die nach Unterbrechung der Helladaptation bis zum Sichtbarwerden des jeweiligen Schwellenwertes verliefen und deren Ordinaten die Schwellenwerte der Lichtempfindung selbst angeben (Empfindlichkeitswert = 10^7 dividiert durch den Lichtintensitätswert des betreffenden Feldes.)

Die Betrachtung der Kurven zeigt gewisse Inkongruenzen der einzelnen untereinander, die sich jedoch zwanglos auf die Kürze der Beobachtungsmöglichkeit und die Versuchsanordnung



Kurve I.

Kurve II.

Kurve III.

Kurve IV.

Kurve V.

zurückführen lassen. Während bei den Kurven des Versuchs III diejenigen der zweiten und dritten Minute erst oberhalb der gezeichneten Grenzstrecke sich gabeln, diejenigen der sechsten und zehnten Minute desselben Versuchs schon bei dem Empfindlichkeitswert 949, gabeln sich die Kurven der zweiten und dritten Minute des Versuchs V schon bei dem Empfindlichkeitswert 1668, hingegen die Kurven der sechsten und zehnten Minute desselben Versuchs erst oberhalb der oberen Grenzstrecke. Es mag bezüglich der Erklärung dieser Differenzen auch an die örtlichen Unterschiede der Empfindlichkeit im dunkeladaptierten Auge erinnert werden, deren Einzelheiten v. Kries[1] studiert hat. Man mag sich fernerhin daran erinnern, dafs bei den Feldern ein fest bestimmter Fixierpunkt nicht gegeben war.

Noch ein Mangel der Kurven soll hervorgehoben werden, nämlich das zeitweilige Zusammenfallen zweier Kurven, deren spätere Gabelung erweist, dafs sie verschiedenartig sind. Dieser Mangel ist auf die für alle Versuche fest eingestellten, invariabeln Reizwerte zurückzuführen. Die betreffenden Werte der Empfindlichkeitskurven mufsten bei höheren Lichtintensitäten unter ein dargebotenes bestimmtes Feld sich subsummieren lassen und es konnte ihre Verschiedenheit erst nach einiger Zeit, wenn in der Folge die Lichtintensitäten in mehrere, weniger voneinander entfernte Lichtintensitäten aufgelöst wurden, durch Wahl differenter Felder zum Ausdruck gebracht werden.

Dafs übrigens auch mit den gewählten invariabeln Lichtintensitäten, die zur Verwendung kamen, immerhin ausreichende Kurven sich erzielen liefsen, zeigt z. B. die folgende Kurve, die die Empfindlichkeitszunahme des Auges beim Übergang von guter Helladaptation zur Dunkeladaptation darstellt und mit analogen Darstellungen von Piper in gutem Einklang steht.

(Siehe Kurve VI auf S. 301.)

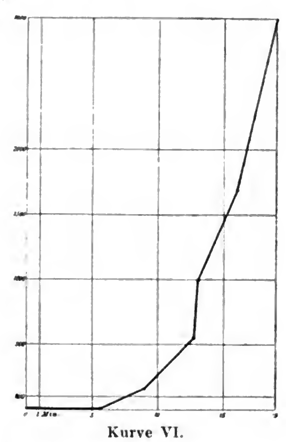
Doch wenden wir uns noch einmal der Betrachtung der Kurven I bis V zu.

Während in allen 5 Kurvensystemen die Kurven der ersten und zweiten Minute eine deutliche Verschiebung des Wiederanstieges zum Vollwert der Dunkeladaptationshöhe zeigt, weisen die Kurven der 3., 6. und 10. Minute Annäherungen, die bis zur teilweisen Verschmelzung gehen, auf. Mit Worten können wir

---

[1] *Zeitschrift für Physiol. u. Psychol. der Sinnesorgane* **15**, S. 327.

dies auch so umschreiben: die Veränderung, die die Empfindlichkeit des Auges schwachen Lichtreizen gegenüber während der Einwirkung von Lichtreizen erleidet, ist in den beiden ersten Minuten bedeutend und konstant zunehmend, während dies nicht in der gleichen Weise nach der zweiten Minute bei den folgenden Minuten zutrifft.



Kurve VI.

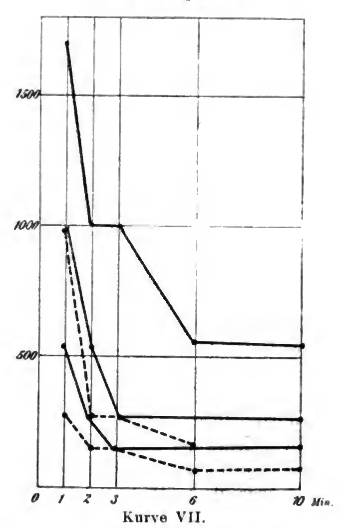
Diesem aus der Betrachtung der Kurvensysteme deduzierten allgemeinen Gesetz wollen wir nun dadurch eine bestimmtere Gestalt zu geben versuchen, dafs wir aus dem Kurvensystem jedes einzelnen Versuches eine einzige Kurve konstruieren, die uns ein direkteres Bild von dem zeitweiligen Verlauf der betreffenden Helladaptation gibt. Dazu wähle ich die Werte, die die betreffenden Kurven nach Ablauf der 10 Sekunden nach Unterbrechung des Helladaptationsprozesses zeigen und trage sie in ein rechtwinkliges Koordinatensystem als Funktion der Helladaptationszeit, die jedem einzelnen Kurvenwert entspricht, ein.

Man kann einwenden, die Heranziehung der Schwellenwerte, die das Auge gerade 10 Sek. jeweils nach Unterbrechung des betreffenden Adaptationsvorganges besitze, zur Aufstellung einer Empfindlichkeitskurve schlösse eine Willkür der Betrachtung in sich, die für die wahrheitsgetreue Darstellung nicht ohne Belang

sein könnte. Darauf ist zu antworten: Sicherlich wäre das Ideal der Bestimmungen, wenn sofort unmittelbar nach Ablauf der Zeit, in welcher das Auge der betreffenden Helligkeit exponiert wurde, ein Schwellenwert bestimmt worden wäre. Aber es durften erst nach Ablauf einer gewissen Mindestzeit Schwellenbestimmungen erhoben werden aus Rücksicht auf die Nachbilder, deren Nichtbeachtung die oben angedeutete Genauigkeit doch wiederum sehr in Frage gezogen hätte. Die 10. Sekunde zeigte sich nun aber — auch bei den höheren Lichtintensitäten, mit denen experimentiert wurde — als völlig frei von Nachbildern. Auch war, namentlich bei den Helladaptationen bei gröfseren Lichtintensitäten, der Schwellenunterschied der 10. Sekunde von jener unmittelbar vor der 10. Sekunde nur gering. Da ferner eine Kurve (s. weiter unten) für mittlere Tagesbeleuchtung angefertigt wurde, der Übergang ins Dunkelzimmer aber einige Zeit erforderte, war auch, um einheitliche Resultate zu bekommen, schon aus diesem Grunde die Beibehaltung der Schwellenbestimmung nach der 10. Sekunde für alle Versuche empfehlenswert. Zieht man ferner in Betracht, dafs die aus dieser Beobachtungsweise sich ergebende Fehlerquelle bei allen Versuchen dieselbe ist, dann mufs man zugestehen, dafs diese Schwellenwerte sicherlich ein genaues relatives Mafs ergeben, wenn auch zugegeben werden mufs, dafs ihre absolute Höhe von der zur Zeit der Unterbrechung des Adaptationsvorganges bestehenden differieren mag. Es liegt auf der Hand, dafs aus den Kurven I bis V sich Kurven nach Art der Kurve VII konstruieren liefsen, bei denen statt der 10 Sekundenpause jede beliebige längere Wartezeit vom Schlufs der Helladaptation bis zur Aufnahme des Schwellenwertes eingeführt wäre. Aus Gründen der Raumersparnis liefs ich derartige Darstellungen indessen beiseite und wählte die überdies wohl mehr interessierende Zwischenzeit von 10 Sek. als praktisch geeignetstes Minimum.

Das Kurvensystem Nr. VII ist, wie oben erörtert wurde, so entstanden, dafs jede einzelne Kurve eine reduzierte, aus den Kurvensystemen Nr. I bis V gewonnene darstellt.

Bei der Betrachtung dieser Kurven, die ein direkteres Bild des zeitliches Verlaufes der Helladaptationen geben, als dies aus den Kurven Nr. I bis V selbst zu ersehen möglich war, mufs jedoch an die Mängel der Versuchsanordnung erinnert werden, auf die schon oben aufmerksam gemacht wurde, und die ihren Grund



Kurve VII.

in der Tatsache haben, dafs die verschiedenen Lichtintensitäten, an denen der Ablauf der Empfindlichkeitsabnahme des Auges gemessen wurde, bestimmte feste Gröfsen hatten und von ziemlich breiten Intervallen unterbrochen wurden. Hierauf ist vor allem das Eckige im Verlauf der Kurve Nr. VII zurückzuführen, ferner auch das zeitweilige Berühren bzw. das Zusammenfallen der einzelnen Kurven. Vor allen Dingen bedürfen die Plateaus des horizontalen Endverlaufs in der Figur der Rektifizierung. Vergleicht man die Kurven des Versuchs I—V, so sieht man, dafs namentlich bei den Kurven der 6. und 10. Minute die gleichen Anfangswerte der später divergierenden einzelnen Kurven es sind, welche den horizontalen Lauf bedingen. Ziehen wir diese Tatsache für die Würdigung der Kurve VII in Betracht, dann werden wir in dem horizontalen Endstück eine je länger desto mehr sich geltend machende Tendenz annehmen müssen, die den Verlauf der Kurve der Abszissenachse zu nähern trachtet.

Die drei Versuchsbedingungen, von denen ausgegangen wurde, waren: 1. fraktionierte Bestimmung, 2. Untersuchung mit

schwächeren abstufbaren Lichtreizen, denen das Auge exponiert wurde, 3. fest eingestellte Reizwerte.

Dieser dritte Punkt hat durch die Anordnung, die in der ersten Versuchsanordnung getroffen war, das Eckige der Kurven und gewisse Verlaufsrichtungen, die der Wirklichkeit nicht entsprechend sind, bedingt. Um der dritten Bedingung in anderer Weise, die eine der Wirklichkeit entsprechendere Aufnahme des Verlaufes der Kurven gewährleisten würde, gerecht zu werden, diente folgende Überlegung: Wenn dort räumlich nebeneinander abgestufte Lichtintensitäten vorgezeigt wurden, dann mufsten, wollte man mit genauer variierten eingestellten Schwellenwerten experimentieren, diese zeitlich nacheinander aus praktischen Gründen benutzt werden. Denn jetzt war eine so grofse Menge von verschiedenen Lichtintensitäten notwendig, dafs ohne ungeheure entsprechende Einrichtungen die Möglichkeit des gleichzeitigen Vorzeigens sich nicht realisieren liefs. Jedoch konnte an einem einstellbaren Apparat durch häufige Wiederholung desselben Versuches der Schwellenwert gefunden werden, der für die betreffende Lichtintensität, der das Auge ausgesetzt wurde, und für die betreffende Exponierungszeit mafsgebend war.

Die Werte dieser folgenden zweiten Versuchsreihe sind mit dem neuen Adaptometer[1] des Herrn Prof. Nagel aufgenommen worden. Da das Adaptometer noch nicht öffentlich beschrieben worden ist, ist es wohl am Platze mit ein paar Worten auf seine Konstruktion einzugehen.

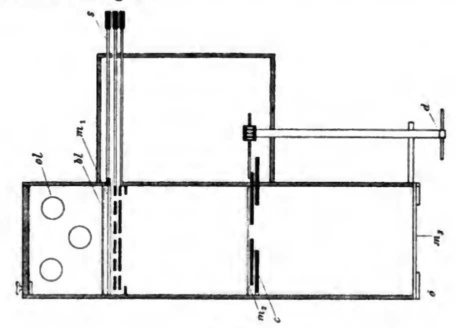


Fig. 2.

[1] Zu beziehen durch die Firma Schmidt u. Hänsch, Berlin.

In dem hinteren Abschnitt eines 80 cm langen und 22 cm breiten und hohen Holzkastens befinden sich 3 je 25 kerzige Osmiumlampen (*ol*); vor ihnen befindet sich eine blaue Glasscheibe (*bl*) und unmittelbar hinter ihr eine Milchglasscheibe m_1, welche durch die Osmiumlampen gleichmäſsig erleuchtet wird und die Lichtquelle ist für die an der vorderen Seite des Kastens befindliche Öffnung, die ein auf die Spitze gestelltes Quadrat darstellt und mit einer Milchglasscheibe m_3 ausgefüllt ist. Auf dem Wege von m_1 bis m_3 ist eine Reihe von Verdunklungsvorrichtungen angebracht, die es gestatten die Lichtintensität in mannigfachster Weise abzustufen. Zunächst befindet sich etwa in der Mitte des Kastens ein Aubertscher Schieber (*c*), welcher mittels übersetzter Dreheinrichtung (*d*) vom Beobachter vorn eingestellt werden kann. Durch die Verschiebung lassen sich Quadratgröſsen von 1 bis zu 10000 □mm einstellen. Die jeweilige Flächengröſse wird an einem Maſsstab von oben direkt abgelesen. Die Helligkeit von m_3 muſs ihr proportional sich ändern. Eine weitere Abstufung gestatten 3 einzeln einschiebbare durchlöcherte Metallscheiben (*s*) vom Verdunklungswert von je 20. Sind alle Scheiben eingeschoben, so bilden die abgelesenen Flächengröſsen des Aubertschen Schiebers die (willkürlichen) Einheiten der Lichtintensitäten. Wird eine Scheibe ausgezogen, so haben die Lichtintensitäten einen Zuwachs auf das Zwanzigfache erfahren; sind zwei Scheiben ausgezogen, so sind die Zahlen mit 400 (da jetzt 2 Verdunklungswerte von je 20, also $20 \times 20 = 400$ in Wegfall kommen) zu multiplizieren; und nach Ausziehung aller Scheiben sind die Zahlen mit 8000 zu multiplizieren.

Der Beobachter sitzt in Armeslänge vor der vorderen Öffnung (*ö*). Da diese 100 □cm groſs ist, so wird von der belichteten Fläche ein ziemlich groſses Netzhautgebiet getroffen. Da jedoch, wie die Untersuchungen von Pertz und v. Kries ergeben haben, sich örtliche Unterschiede in der Empfindlichkeit des dunkeladaptierten Auges finden,[1] muſste man, um für die Gewinnung

[1] An dieser Stelle mag darauf hingewiesen werden, daſs, wenn man nach guter Helladaptation die Empfindlichkeit der Netzhaut schwachen Lichtreizen gegenüber prüft, man zunächst zentral oder ganz parafoveal deutlicher das Licht percipiert als wenn man etwas peripherer beobachtet. Nach einer Reihe von Minuten wechselt dieser Unterschied; und zwar um die Zeit, in welcher der jähe Anstieg der Empfindlichkeit der Netzhaut einsetzt. Daſs man hieraus vielleicht den Schluſs ziehen könnte, daſs bei der Dunkel-

einheitlicher Resultate die Möglichkeit der Verwendung einer bestimmten Netzhautpartie Garantie zu erlangen, einen Fixierpunkt über der oberen Spitze des beleuchteten Quadrates anbringen; andererseits war der Fixierpunkt auch notwendig, damit man bei den spähenden Augenbewegungen immer gleich dieselbe Netzhautstelle wieder einstellte. Zu diesem Zweck wurde eine allseitig umschlossene Glühlampe benutzt, die durch eine mit rotem Glas versehene Öffnung rotes Licht in eine etwa 25 cm lange Röhre entsandte, an deren Ende unter Spiegelung in einem kleinen Prisma ein kleines Milchglasknöpfchen durchleuchtet wurde. Dieses schwach leuchtende rote Pünktchen ist von allen Seiten gleichmäfsig sichtbar.[1]

Die Werte der zweiten Versuchsreihe sind nun in der Weise aufgenommen worden, dafs der Beobachter vor dem eben beschriebenen Adaptometer safs. Neben dem Apparat befand sich ein grofser weifser aufgespannter Karton, der von einer Lampe aus 1 m Entfernung gleichmäfsig bestrahlt wurde; in den Lampenträger liefs sich eine 5kerzige, eine 25kerzige und eine 50kerzige Glühlampe wechselweise einsetzen. Durch eine Abblendungsvorrichtung wurde verhindert, dafs nicht direkte Lichtstrahlen von der Lampe das Auge des Beobachters trafen. Nach voraufgegangener, völliger Dunkeladaptation, deren Vorhandensein vor jedem Versuch mit dem Adaptometer kontrolliert wurde, betrachtete das Auge je 1, 2, 3 usf. Minuten den Karton genau in der bei der ersten Versuchsreihe geübten Weise, indem vor allem darauf geachtet wurde, dafs durch Bewegungen des Auges eine möglichst grofse Netzhautpartie von dem reflektierten Licht getroffen wurde. Nach Löschung der bestrahlenden Lampe wurde ein am Adaptometer für den betreffenden Versuch eingestellter approximativer Wert bezüglich seines Auftauchens bei einem Metronomschlag beobachtet. Tauchte das Licht des Quadrates vor der 10. Sekunde auf, dann wurde die Intensität gedämpft; tauchte es nach der 10. Sekunde auf, dann wurde bei dem folgenden Versuch unter denselben Bedingungen die Intensität

adaptation im ersten Stadium, nämlich in dem des ganz geringen Anstieges, die Zapfen eine Rolle spielen könnten und dafs mit dem Einsetzen des jähen Anstieges der Kurve der reine Stäbchenapparat in Funktion treten würde, soll nur mit aller Reserve angedeutet werden.

[1] Auch diese Fixierpunktvorrichtung wird von der Firma F. Schmidt u. Hänsch geliefert.

erhöht. Die Versuchsreihe für jede Minute und jede Helligkeit wurde erst abgeschlossen, wenn eine Lichtintensität eingestellt war, die in der 10. Sekunde nach Ausschaltung des das Auge treffenden Lichtes eben noch zur Empfindung gelangte.

An diese Versuche ist auch eine Versuchsreihe, bei der das Auge diffusem reflektierten Tageslicht, wie es an wolkenlosem Tage als mittlere Zimmerbeleuchtung sich findet, angeschlossen worden.

Zweite Versuchsreihe.

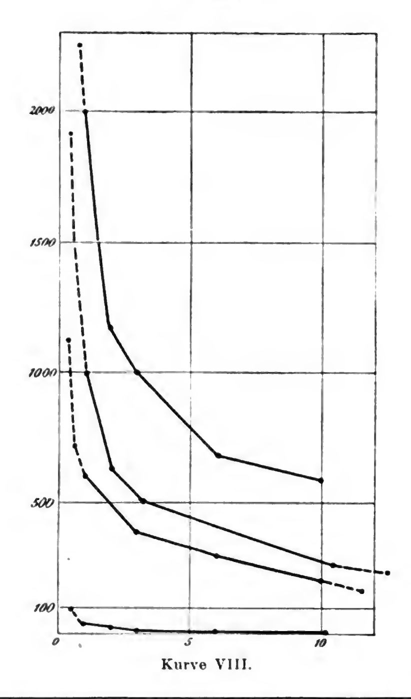
Intensität des zur Helladaptation benutzten Lichtes		Dauer der Helladaptation				
		1 Min.	2 Min.	3 Min.	6 Min.	10 Min.
a) 5 Meterkerzen	Es wurde bei der 10. Sekunde gesehen	5 000	8 500	10 000	15 000	17 000
b) 25 „	„	10 000	15 500	19 000	24 500	36 000
c) 50 „	„	16 000	20 000	25 500	33 000	45 000
d) mittlere Tageshelligkeit	„	260 000	450 000	600 000	1 080 000	1 320 000

Die Zahlen dieser Tabelle sind wiederum, wie oben, als Ausdruck der wahrgenommenen niedrigsten Lichtintensität dem reciproken Werte des jeweiligen Empfindlichkeitszustandes des Auges gleichzusetzen und durch Division in 10^7 auf dieselbe Einheit wie die Werte der vorangehenden Kurven zu bringen. Diese berechneten Werte sind als Funktion der Expositionszeiten des Auges in ein System rechtwinkliger Koordinaten eingezeichnet worden.

(Siehe Kurve VIII auf S. 308.)

Die Kurven zeigen gegenüber denen der ersten Versuchsreihe eine gröfsere Abrundung und erreichen nicht ein so scharf bestimmtes Plateau des horizontalen Verlaufes während der ersten 10 Minuten.

Es fragt sich, wie verhalten sich nun die Kurven während des Verlaufes der 1. Minute? Zu diesem Zweck sind für die 4 letzt angegebenen Helligkeiten nach je $^1/_3$ und $^2/_3$ Minuten Schwellenbestimmungen gemacht worden. Ihre Werte sind aus der folgenden Tabelle ersichtlich.

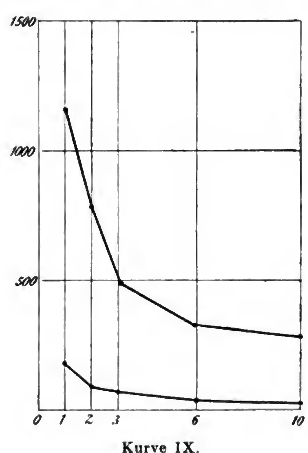


Kurve VIII.

Intensitäten des zur Helladaptation benutzten Lichtes		Dauer der Helladaptation	
		1/3 Min.	2/3 Min.
a) 5 Meterkerzen	Es wurden nach 10 Sek. gesehen	2 250	3 000
b) 25 „	„	5 250	7 000
c) 50 „	„	9 000	14 000
d) mittlere Tageshelligkeit	„	120 000	225 000

Die wiederum auf dieselbe Einheit gebrachten Empfindlichkeitswerte sind in der Kurve VIII punktiert eingezeichnet. Der

Verlauf der Kurven gestaltet sich also nicht geradlinig während des Verlaufs der 1. Minute; er erfährt während der beiden letzten Drittel eine Veränderung, die noch gut untersuchbar und auch graphisch darstellbar ist. Für das erste Drittel der Minute können wir weniger mit der geübten Untersuchungsweise gültige Resultate erreichen, da die kurze Expositionszeit eine so schnell wechselnde und vor allen Dingen so flüchtige Veränderung der Adaptation bedingt, dafs wir nicht verwertbare Zahlen erhielten. Wir können aber auch sehr wohl ohne diese Erhebungen die Kurven ergänzen. Wenn wir bedenken, dafs der Schwellenwert der Dunkeladaptation, von dem wir ausgingen, etwa 50000 der als Einheiten eingetragenen Zahlen der Koordinatenachse, betrug, so müssen wir folgern, dafs die Kurve im ersten Drittel der Minute jäh bis zu den Endwerten, die für das Ende des ersten Drittels der ersten Minute eingezeichnet sind, abfällt. Dabei dürfen wir dem ganzen Charakter der Kurve nach nicht einen geradlinigen Verlauf supponieren, sondern müssen annehmen, dafs der zunächst geradlinige Abfall, je mehr er sich dem Schwellenwert des ersten Drittels der ersten Minute nähert, eine um so gröfsere Zuneigung zu diesen Werten hin im Sinne der betreffenden Kurve aufweisen wird.



Kurve IX.

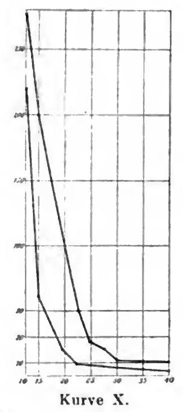
Kurve IX zeigt zwei Kurven, die aus den Werten berechnet sind, die Herr Professor Dr. Nagel bei einer verschieden langen Exposition eines 5 und eines 25 kerzigen Lichtes erhielt. Es mag betont werden, dafs diese Bestimmungen monokular gemacht worden sind und daher die Empfindlichkeitswerte niedriger als bei binokularer Bestimmung ausfallen mufsten, wie auch einzelne neuerliche Bestimmungen wiederum ergaben. Immerhin müssen sich aber trotzdem individuelle Verschiedenheiten vorfinden, die die grofse Differenz der Werte des Herrn Prof. N. von den meinen erklären. Hierauf soll jedoch in einer späteren Arbeit näher eingegangen werden.

Es erübrigt noch den Verlauf der Kurve jenseits der 10. Min. zu verfolgen. Ich habe hierzu die Helligkeiten von 25 und 50 Meterkerzen gewählt. Die betreffenden Glühlampen wurden auf einen Tisch gestellt, der mit einem weifsen Karton bedeckt war; auch der Lampe gegenüber fanden sich rechtwinklig zueinander gestellt senkrecht verlaufende Kartons, so dafs das Licht von allen Seiten gleichmäfsig reflektiert wurde. In dieser so beschaffenen gleichmäfsigen Helligkeit las ich und bestimmte von Zeit zu Zeit mit dem Nagelschen Adaptometer die Schwellenwerte. Ihre nach der oben angegebenen Weise zu Reizwerten umgerechneten und auf dieselbe Einheit gebrachten Höhen betrugen:

1. bei der 25 kerzigen Lampe				2. bei der 50 kerzigen Lampe			
200	nach	15	Min.	62,5	nach	15	Min.
50	„	34	„	20,8	„	29	„
25	„	49	„	9,2	„	39	„
19,2	„	60	„	7,3	„	60	„
12,5	„	70	„	5,6	„	79	„
10,8	„	80	„	5,0	„	99	„
10,8	„	110	„	4,8	„	109	„

In der Kurve IX ist der Anfang dieser Werte gestrichelt gezeichnet. Um jedoch die Kurve deutlicher zu veranschaulichen, sind in Kurve X verglichen mit den Werten der übrigen Kurven die Ordinatenwerte auf das Zehnfache vergröfsert, die Abszissenwerte auf den zehnten Teil zusammengezogen worden.

In dieser Darstellung zeigt das Stück der Kurve zwischen der 10. und 15. Minute einen ganz steilen Abfall, während dasselbe Stück bei den Ordinatenwerten der Kurve IX schon annähernd horizontalen Verlauf zeigte. Wir sehen vor allen Dingen, daſs die Kurven sich nicht vereinigen, daſs vielmehr nach der 80. Minute die Kurve der 25 kerzigen Lampe horizontalen Verlauf nimmt, während zu dieser Zeit diejenige der 50 kerzigen Lampe noch um ein ganz geringes fällt. Dieses letzte Resultat war zu erwarten, wenn anders nicht unsere Annahme, daſs nicht eine Helladaptation besteht, sondern daſs es Helladaptationen gibt, zu unrecht bestand.



Kurve X.

(Eingegangen am 30. Juni 1906.)

(Aus der physikalischen Abteilung des physiologischen Instituts der Universität Berlin.)

Über die Nachbilder subjektiv gleich heller, aber objektiv verschieden stark beleuchteter Flächen.

Von
Henry J. Watt.

Die scheinbare Helligkeit einer Fläche, die von einer konstanten Lichtquelle beleuchtet wird, ist bekanntlich erheblich gröfser, wenn vorher das Auge des Beobachters längere Zeit von sehr schwachem Licht, als wenn es auch nur kurze Zeit von starkem Licht gereizt worden ist. Dies läfst vermuten, dafs es möglich sein wird, subjektiv gleiche Helligkeiten zu erzielen, die auf ganz verschiedenen Wegen zu stande kommen, nämlich so, dafs die eine von der Wirkung eines starken Lichtes auf ein vorher stark gereiztes (helladaptiertes) Auge, und die andere von der Wirkung eines schwachen Reizes auf ein vorher längere Zeit minimal gereiztes (dunkeladaptiertes) Auge hervorgebracht wird.

Ich beschäftigte mich nun zunächst mit der Realisierung dieser Möglichkeit, die mir leidlich gelang. Zwei Mattglasplatten wurden von je einem Auerlicht beleuchtet. Das eine Licht wurde mit Hilfe einer Irisblende so weit abgeschwächt, bis die davon beleuchtete Platte einem mäfsig helladaptierten Auge nicht mehr sichtbar war. Der Beobachter hatte nun diese Fläche mit dem einen 30 Minuten lang dunkeladaptierten Auge zu betrachten. Die andere Fläche, deren Beleuchtung variierte, wurde mit dem anderen, helladaptierten, Auge gesehen und eine schwarze Scheidewand trennte beide Augen und Lichtquellen voneinander. Der Beobachter schaute auf beide Platten zu gleicher Zeit und liefs die Helligkeit der einen von dem Versuchsleiter so lange variieren, bis beide ihm gleich hell und gleichfarbig erschienen. Es ergab

sich, dafs dem hellen Lichte ziemlich viel Blau beigemischt werden mufste, um die davon beleuchtete Fläche der anderen mit dem dunkeladaptierten Auge gesehene Fläche gleich erscheinen zu lassen. Dies ist für die Dichromaten schon von v. KRIES und NAGEL festgestellt worden.[1]

Ferner schien es interessant zu wissen, wie sich die Nachbilder der zwei subjektiv gleich hellen Flächen verhalten. Verhalten sie sich in gleicher Weise, so ist es möglich, dafs ein und derselbe Erregungsvorgang bei beiden die unmittelbare Vorbedingung ist. Verhalten sie sich dagegen verschieden, so sind die betreffenden Erregungsvorgänge zum mindesten verschieden, vielleicht verschieden zusammengesetzt, nämlich was den Anteil der vorhergegangenen Disposition des Auges und der Reizstärke betrifft, oder verschieden stark, indem diese zwei Komponenten nicht in beiden Fällen die gleiche Resultante in der Stärke des Erregungsvorganges ergeben, was man ja aus der subjektiven Gleichheit der Helligkeiten zu schliefsen hätte.

Um nun genügend grofse miteinander zu vergleichende Flächen zu erhalten benutzte ich für das dunkeladaptierte Auge das im physiologischen Institut befindliche Adaptometer, welches die gleichmäfsige und variierbare Beleuchtung eines Feldes von 10×10 cm² ermöglicht. Gegen die rechte Seite dieses Feldes hing ein schwarzer Streifen von 2 cm Breite über das ganze Feld herunter. Ein kleines Loch in der Mitte davon liefs so viel Licht durch, dafs eine gute Fixation möglich war und an einem kleinen schwarzen Fleck auf dem weifsen Grunde der linken Hälfte des Feldes konnte das projizierte Nachbild ebenfalls leicht fixiert werden. Ein Feld derselben Gröfse 10×10 cm² wurde von dem Licht einer Bogenlampe beleuchtet und mit Milchglas und passenden farbigen Gläsern und Flüssigkeiten wurde dieses Licht so weit herabgestuft und gefärbt, dafs das Feld dem ersten gleich hell und gleichfarbig erschien. Natürlich wurde auch das Vergleichsfeld mit schwarzem Streifen und Fixationspunkt versehen. Der Beobachter safs in einem dunklen Zimmer 60 cm vor dem beleuchteten Feld des Adaptometers. In einer Tür dicht neben ihm wurde eine Irisblende eingesetzt, durch die die von der Bogenlampe beleuchtete Fläche in schwarzem

[1] s. *Zeitschr. f. Psychol.* **12.** S. 28f. *Nagels Handbuch der Physiol.* **3.** S. 188.

Rahmen gesehen werden konnte. Der Beobachter brauchte also nach der Beobachtung des Adaptometerfeldes nur das betreffende Auge zu verdecken, den Kopf ein wenig zu drehen und mit dem anderen Auge durch die Blende auf das vor der Bogenlampe stehende Feld zu blicken, das sich in dieser Stellung des Beobachters auch 60 cm weit von seinem Auge befand. Auf diese Weise konnte sowohl eine angenäherte Gleichheit der Felder gewonnen, wie auch eine bequeme Untersuchung der Nachbilder unter ganz gleichen Bedingungen der Beobachtung beider ausgeführt werden. Der Gesichtswinkel beider Felder betrug 9° 52′. In allen Versuchen wurde der schwarze Streifen auf dem hellen Felde 20 Sek. lang fixiert. Dann wurde der schwarze Punkt fixiert und an einem Metronom eine Schätzung der Dauer der verschiedenen Stadien des Verlaufs der Nachbilder versucht. Zur Herstellung eines geeigneten Lichtes am Adaptometer wurde eine der drei darin befindlichen Milchglasplatten hineingeschoben und die Skala auf die Zahl 2500 eingestellt. Das ergibt eine nach den Verhältnissen des Adaptometers berechnete Lichtstärke von einer Million (2500 × 20 × 20, da die Verdunkelung durch jede Platte 20fach ist). Dieses Licht war dem mäſsig hell adaptierten Auge nicht mehr sichtbar. Als Beobachter dienten auſser mir selbst die Herren Dr. R. P. Angier und Dr. F. P. Boswell.

Nachdem die annähernde Gleichheit beider Flächen hergestellt worden war, wurde eine Reihe von 15 Beobachtungen fortlaufend am Adaptometer aufgenommen. Dabei ergab sich nach Fixation des dunklen Streifens während 20 Sek. ein Nachbild, das durchschnittlich bei Herrn Dr. Angier 4,8 Sek., bei mir 6,0 Sek. dauerte. Herr Dr. Angier gab an, daſs das Nachbild nach der Fixation des schwarzen Punktes auf hellem Grund zuweilen sofort, und gelegentlich erst innerhalb der ersten Sekunde seine maximale Helligkeit erreichte. Ein zweites Nachbild wurde von uns nicht beobachtet. Die Nachbilder waren gewöhnlich und besonders bei guter Fixation hell und scharf.

Auf diese folgten zwei Reihen von Beobachtungen an dem von der Bogenlampe beleuchteten Felde. Die Helladaptation des Auges wurde an der weiſsen Wand neben einer zweiten Bogenlampe vorgenommen. Zur Kontrolle derselben wurde die Lichtschwelle für diesen Zustand der Helladaptation am Adaptometer festgestellt und zwar betrug sie 1 600 000, so daſs die am Adaptometer verwendete Helligkeit von 1 000 000 sicher unter der Licht-

schwelle für diesen Zustand der Helladaptation lag. In Tab. I kann man die Resultate überblicken.

Tabelle I.

	Anzahl von Beobachtungen	Dauer (in Sekunden)				
		der Fixation	der Zw. Zeit	des Nachbildes	der 2. Zw. Zeit	des 2. Nachbildes
A. 3. 3. 06	10	20	0,5″	3,3	3–4	1
	10	20	0–1″	2,25	2	2
	20	20	bis 1″	2,75	2–4	1–2
A. 7. 3. 06	5	20	1	3,6	2	2
	5	20	1	4,0	2,8	2
	5	20	1	4,0	3,0	2
	5	20	1	4,0	2,5	2
	20	20	bis 1″	4,0	2,6	2
W. 6. 3. 06	10	20	1	4,3	3–4	2
	10	20	1	4,2	2,5	3
	10	20	1	4,2	3,5	2–3
	30	20	bis 1″	4,2	3,0	2–3
W. 7. 3. 06	5	20	—	4,4	—	—
	5	20	—	3,8	2–3	3–4
	5	20	—	4,2	3	3
	15	20	—	4,2	2–3	3–4

Die Beobachtungen von uns beiden stimmen gut miteinander überein. Das erste Nachbild entwickelte sich etwas langsamer als bei dem objektiv schwächeren Lichtreiz, erreichte aber innerhalb der ersten Sekunde seine maximale Helligkeit. Diese Entwicklung kann beobachtet werden auch wenn sofort und nachdem eine gute Fixation erreicht wird. Ein zweites Nachbild ist oft, jedoch nicht jedesmal zu beobachten. Von Herrn Dr. Angier wurde es in 12 aus den ersten 20 Beobachtungen, und von mir in 20 aus den ersten 30 Beobachtungen konstatiert. Die Beobachtung ist in dieser Hinsicht schwierig und unsicher, so dafs nur eine ungefähre Schätzung der Dauer gemacht werden konnte. Das erste Nachbild nimmt in der letzten Zeit seiner Dauer an Helligkeit ab und verschwindet von oben und unten gegen den Fixationspunkt hin.

Nachdem nun in diesen Versuchen die Entwicklung des ersten Nachbildes und auch das zweite Nachbild beobachtet worden waren, wurde noch eine Reihe von Versuchen am Adaptometer ausgeführt. Die Resultate der ersten Beobachtungen wurden dabei bestätigt. Das Nachbild ist nicht so scharf wie bei dem objektiv stärkeren Lichtreiz, eine Entwicklung desselben wird aber sehr selten beobachtet. Noch seltener ist ein zweites Nachbild vorhanden und dann nur spurweise. Meine Nachbilder dauerten wie zuvor 6 Sek., die von Herrn Dr. Angier 4 Sek. Da Herr Dr. Angier aber diese Beobachtungen nach einer längeren Reihe anderer Versuche machte, so kann die kleine Abnahme der Dauer seiner Nachbilder von der Ermüdung herrühren. Bei der ersten Beobachtung einer Reihe dauert das Nachbild gewöhnlich etwas länger als in den folgenden. Im wesentlichen scheint die Dauer von der Güte der Fixation sowohl des schwarzen Streifens wie auch des schwarzen Punktes abhängig zu sein. Die wenigen Beobachtungen von Herrn Dr. Boswell stimmten in allen Punkten mit den angeführten überein.

Ich habe nun ferner eine lange Reihe von Beoabachtungen ausgeführt, um festzustellen, ob bei wenigstens halbstündiger Dunkeladaptation die Dauer des Nachbildes von der Helligkeit des beobachteten Lichtfeldes abhängt. Bei jeder Lichtstärke wurden 3 Beobachtungen gemacht und zwischen je 3 Beobachtungen eine kleine Pause eingeschoben, damit durch die Einwirkung des Lichtes die Dunkeladaptation nicht allmählich aufgehoben würde. In Tab. II stehen die Resultate.

Der Lichtstärke 180000 war eine etwas gröfsere Pause vorausgegangen, was wohl die längere Dauer des betreffenden Nachbildes erklären mag. Man kann wohl behaupten, dafs mit der Abnahme der einwirkenden Lichtstärke die Dauer des Nachbildes etwas abnimmt, was ich in einer weiteren Reihe von Beobachtungen bei drei Helligkeiten in gröfseren Abstufungen bestätigen konnte. Bei schwächeren Beleuchtungen aber wird die Beobachtung und namentlich die Fixation des Streifens immer schwieriger, bis sie zuletzt durch längeres Verschwinden des ganzen Feldes und starke Eigenlichtströmung fast unmöglich wird.

Das Gegenstück zu diesen Beobachtungen ist in Tab. III zusammengefafst. Ein und dieselbe Lichtintensität (1000000) wurde einmal alle drei Minuten während einer halben Stunde von mir beobachtet. Für die erste Beobachtung, die ja gleich

Tabelle II.

Intensität des Lichtfeldes	Dauer des Nachbildes
1 000 000	8 Sek.
800 000	6 „
600 000	5+ „
400 000	5+ „
200 000	5 „
180 000	6+ „
160 000	5+ „
140 000	5— „
120 000	4+ „
100 000	4+ „
80 000	4 „
60 000	4 „
40 000	3+ „
30 000	5+ „
20 000	4 „
10 000	4 „
9 000	4 „
8 000	4 „
7 000	4 „
6 000	5+ „
5 000	3+ „
4 000	3+ „

Tabelle III.

Dauer der Dunkeladaptation	Dauer des Nachbildes
0 Min.	2 Sek.
3 „	3 „
6 „	6+ „
9 „	5 „
12 „	4 „
15 „	4 „
18 „	6 „
21 „	6 „
24 „	5 „
27 „	5 „
30 „	6 „

nach Beendigung der Helladaptation noch nicht möglich war, schaute ich in der Richtung des beleuchteten Feldes, bis es wahrnehmbar war. Die Dauer des dann eintretenden Nachbildes ist natürlich kurz, denn das ganze Feld verschwand bald nach der ersten Fixation und die Beobachtung war im ganzen unter solchen Umständen schwierig.

Diese Beobachtungen scheinen zu ergeben, dafs die Dauer eines Nachbildes einigermafsen von der subjektiven Helligkeit des Grundes abhängig ist. Wo dagegen die subjektive Helligkeit gleich ist, entwickelt sich das Nachbild bei dem objektiv schwächeren Lichte etwas rascher, ist aber nicht so scharf, dauert jedoch etwas länger als bei dem objektiv stärkeren Lichte. Dagegen rekurriert das Nachbild bei dem objektiv stärkeren Lichte oft, wenn nicht immer. Dadurch ist wohl der längeren Dauer des ersten Nachbildes bei dem schwächeren Lichte eine Kompensation geboten. Dafs diese in der Form einer Wiederholung der Nachbilderscheinung stattfindet, könnte man auf die sicher gröfsere Ermüdung oder Abnützung der Erregung bei der längeren Einwirkung starken Lichtes zurückführen, während die kürzere Dauer des Nachbildes auf eine schnellere Ausgleichung von Erregungsunterschieden zurückzuführen wäre, den die objektiv stärkere Reizung bewirkt (vgl. z. B. die kurze Dauer der Hell adaptation im Gegensatz zur langen Dauer der Dunkeladaptation). Das Ergebnis dieser Versuche wäre demnach, dafs aus der Beschaffenheit der Nachbilder gleich hell erscheinender, aber objektiv verschieden stark beleuchteter Flächen auf wesentliche Unterschiede in den entsprechenden Netzhauterregungen nicht geschlossen werden kann.[1]

[1] Veranlafst wurde diese Untersuchung durch die von mir häufig gemachte Beobachtung, dafs unmittelbar nach dem Übergang von einem ziemlich hellen in einen etwas dämmerigen Raum die Bedingungen für Entstehung negativer Nachbilder ganz besonders günstig sind. Auch hatte ich unter ähnlichen Bedingungen wie Herr Dr. W. arbeitend, beträchtliche qualitative und quantitative Unterschiede zwischen den Nachbildern im Hellauge und im Dunkelauge gefunden. Da diese für Herrn Dr. W. offenbar in wesentlich geringerem Mafse bestehen, kommen sie in seinen Beobachtungen nur zum Teil zum Ausdruck. Ich hoffe darüber später berichten zu können. Nagel.

(Eingegangen am 26. Juni 1906.)

(Aus der physikalischen Abteilung des physiologischen Instituts zu Berlin.)

Fortgesetzte Untersuchungen zur Symptomatologie und Diagnostik der angeborenen Störungen des Farbensinns.

Von

Professor W. A. Nagel in Berlin.

(Schlufs.)

6. Neue Erfahrungen über das Farbensehen der Dichromaten auf großem Felde.

Über die nachstehend mitgeteilten Untersuchungen habe ich schon auf der Versammlung der ophthalmologischen Gesellschaft zu Heidelberg im August 1906 kurz berichtet. Auch sie datieren in ihren ersten Anfängen wie die in den vorhergehenden Kapiteln mitgeteilten Erfahrungen schon aus den Jahren 1897 bis 1899, sind aber erst jetzt zu einem gewissen vorläufigen Abschlufs gekommen und haben gleichzeitig dadurch ein neues Interesse gewonnen, dafs die oben referierten neuen Erfahrungen an anomalen Trichromaten zusammengenommen mit den hier zu berichtenden Beobachtungen die Beziehungen zwischen Dichromaten und anomalen Trichromaten noch enger zu gestalten scheinen, als man bisher annehmen konnte. Die meisten der Versuche, über die ich hier berichte, sind an mir selbst angestellt, und die bis jetzt gewonnenen Resultate gestatten nicht zu behaupten, dafs sich alle Dichromaten, oder auch nur alle Deuteranopen so verhalten müfsten wie ich. Im Gegenteil liegen hinreichende Anhaltspunkte für die Annahme erheblicher Unterschiede im Verhalten der einzelnen dichromatischen Individuen vor. Soviel kann ich indessen mit Bestimmtheit sagen, dafs

solche eigenartige Erscheinungen, wie sie nachstehend beschrieben werden, auch bei nicht wenigen anderen Deuteranopen vorkommen.

Das Neue ist folgendes: Es gibt Dichromaten, die im rein fovealen Sehen ein typisches dichromatisches Farbensystem aufweisen, beim Sehen mit grofsen Netzhautflächen aber ein komplizierteres System zeigen, das nicht anders denn als ein trichromatisches bezeichnet werden kann. In den mir bekannten Fällen handelt es sich bestimmt nicht um ein normales trichromatisches System, während ein solches in anderen Fällen vielleicht vorhanden ist. Welcher Art das nicht-normale System in den ersteren Fällen ist, ob es mit einem der typischen anomaltrichromatischen Systeme von Rayleigh zusammenfällt, ist zurzeit noch nicht endgültig entschieden.

Bekanntlich bestreiten sehr viele Personen, die mit sicheren Methoden als Dichromaten diagnostiziert sind, — und zumal Gebildete, zur Selbstbeobachtung geeignete Personen —, mit Bestimmtheit, dafs ihr Farbensinn so beträchtliche Irrtümer bedingen könne, wie die Verwechselung von Rot und Gelb oder Rot und Grün. Insbesondere bestreiten sie meistens, dafs Rot für sie nur eine andere Schattierung dessen sei, was sie sonst gelb nennen. Unsicherheit im Grün und Braun wird leichter zugegeben, ebenso im Violett und Blau. Solche Leute davon zu überzeugen, dafs sie die von der Physiologie beschriebenen Farbenverwechselungen wirklich alle machen und dafs das bekannte raffinierte Raten ihnen unter Umständen nichts hilft, das gelingt in den meisten Fällen, wenn man sie mit Herings oder meinem Farbengleichungsapparat oder mit einem Spektralapparat untersucht, der zwei Farben nebeneinander zu stellen gestattet. Wenn sie dann Rot und Gelb fortwährend verwechseln, bald das Gelb (wenn es die dunklere Farbe ist) rot, das Rot gelb nennen, bald auch ein Rot grün und ein Grün gelb, und wenn sie die Heiterkeit bemerken, die sie mit ihren oft aus tiefster Überzeugung gemachten Angaben bei gleichzeitig anwesenden Farbentüchtigen hervorrufen, dann erst geben sie resigniert zu, dafs da doch etwas Erhebliches nicht in Ordnung sei. Manche Leute heben dann wohl hervor, dafs sie an solchen Apparaten, namentlich am Spektralapparat, unter ungünstigen Bedingungen beobachten, weil ihnen dies ungewohnt sei; Eisenbahnangestellte sagen wohl, das Grün an meinem Apparate sei ein anderes als das bei der Eisenbahn zu Signallaternen verwendete. Dieses würden sie nie mit Rot oder Gelb

verwechseln. Das ist natürlich richtig, beweist aber ebenso natürlich nichts gegen das Vorhandensein typischer Farbenblindheit.

Ich, der ich Dichromat (Deuteranop) bin, habe diese Zweifel bis zu einem gewissen Grade auch durchgemacht. Ich wufste zwar, dafs ich Farbenpaare, die für den Farbentüchtigen himmelweit verschieden aussehen, für gleichfarbig halten kann, wufste aber andererseits auch schon lange, dafs ich bei gröfseren farbigen Flächen sehr selten mich darin irre, ob die betreffende Farbe rötlich ist oder nicht. Ich hielt das jedoch zunächst für ein blofses Raten oder für ein Urteil auf Grund der verschiedenen Sättigungsgrade der Farben, also jedenfalls für etwas nicht Neues und nicht Interessantes.

Neuerdings habe ich nun aber in einer mehr systematischen Weise meine Urteile über die Farben namentlich schwach gesättigter farbiger Flächen mit den Urteilen normaler Trichromaten verglichen und dabei leicht konstatieren können, dafs, soweit es sich um die Farbe Rot handelte, die Zahl der richtigen Urteile viel zu grofs war, um durch zufällig richtiges Raten erklärt zu werden. Ich zog daraus den Schlufs, es müsse für mich eine spezifische Rotempfindung geben, die sich nicht nur durch verschiedene Sättigung von einer anderen Farbenempfindung, etwa der Gelbempfindung unterscheidet.[1]

Es besteht bekanntlich ein zur Demonstration des dichromatischen Sehens besonders geeigneter und vielfach angestellter Versuch in der Herstellung einer für den Dichromaten gültigen Gleichung zwischen Blaugrün und Purpur, welche Farben so gewählt werden können, dafs sie für den Farbenblinden neutral grau erscheinen. Man kann diesen Versuch u. a. sehr gut mittels des Farbenkreisels ausführen. Nimmt man von den bekannten Rotheschen Papieren das stark ins Blau gehende Blaugrün und mischt auf dem Kreisel dazu etwas gelbliches Grün, so erhält man bei richtigem Sektorenverhältnis eine Farbe, die für die augenblickliche „Stimmung“ des Dichromatenauges farblos, grau,

---

[1] Aus früher Kindheit schon entsinne ich mich, dafs ich mit Verwunderung bemerkte, wie ich die von anderen als rot, grün, gelb und weifs bezeichneten Schiffslaternen auf den Schweizerseen bei Nacht nicht unterscheiden konnte, dagegen die roten Lichter sofort mit Leichtigkeit herausfand, wenn sie sich im Wasser spiegelten und ihr Bild in einen langen Streifen auseinander gezogen war.

aussieht; ebenso läfst sich aus Rot und Violett oder Blau ein jenem Grün gleichaussehendes, vom Normalen als Purpur bezeichnetes Licht mischen.

Die Herstellung dieser „Neutralgleichung" gelingt nun für mich und andere Dichromaten ganz leicht, wenn wir den Farbenkreisel aus 5—6 m Abstand betrachten. Sie gelingt schon weit weniger befriedigend aus 2 m Abstand, sie gelingt gar nicht mehr, wenn man das Feld aus $^1/_2$ m Abstand betrachtet. Es gibt in diesem Falle keinerlei Mischungsverhältnis von Blau und Rot, bei welchem die Mischfarbe dem Blaugrün gleich aussieht. Auch Zumischung von Schwarz und Weifs zu einem der beiden Lichter bewirkt keine Gleichung. Es ist also kein Sättigungsunterschied, sondern ein Farbenunterschied, der nicht zu beseitigen ist. Nur wenn man sowohl dem Blaugrün, wie dem Purpur sehr viel Weifs oder sehr viel Schwarz beimischt, ist auch an dem aus $^1/_2$ m Abstand betrachteten Kreisel die Gleichung möglich. Dann ist aber auch schon für den Farbentüchtigen die Farbe entweder unter die Schwelle der Wahrnehmbarkeit gerückt, oder sie ist dieser Schwelle sehr nahe.

Ganz Analoges gilt für den Fall, dafs auf der einen Kreiselscheibe ein dem Spektralrot ähnliches Rot gezeigt wird, und auf der anderen Scheibe diejenige Mischung aus Schwarz und Gelb, die auf kleinem Felde dem Dichromaten als jenem Rot gleich erscheint. Auf grofsem Felde ist diese Gleichung nicht zu erzielen, auch nicht wenn die Sättigung nach Möglichkeit gleich gemacht wird. Nur wenn auf beiden Seiten sehr viel Schwarz oder sehr viel Weifs zugemischt wird, ist auch auf grofsem Felde Gleichung möglich.

Die hervorstechendste Erscheinung bei diesen Beobachtungen ist immer die, dafs der Dichromat eine grofse Fläche, die von einem nicht allzu ungesättigten roten Lichte erleuchtet ist, stets richtig als rot erkennt. Es ist hierzu auch keine Vergleichsfläche nötig, wie ich in einer langen Reihe von Versuchen festgestellt habe.

Ich habe diese Versuche aufser mit Pigmentfarben und durchleuchteten Lichtfiltern auch mit Spektralfarben gemacht. Eine kleine Scheibe von Mattglas, etwa 4 cm² grofs, oder ein ebenso grofses Stück dünnen weifsen Papiers wurde von der einen Seite her mit spektralem Licht bestrahlt, dessen Wellenlänge zwischen dem äufsersten Rot und einem Grün von ca. 540 $\mu\mu$ beliebig

variiert werden konnte. Brachte ich ein Auge so nahe wie möglich an die farbig leuchtende Fläche heran, so war das Gesichtsfeld dieses Auges in grofsem Umfang (zu mindestens 50°) mit dem betreffenden homogenen Lichte erfüllt. Unter diesen Umständen ist die Verwechselung von Rot mit Gelb oder Grün gänzlich ausgeschlossen. In Gemeinschaft mit Herrn Dr. Angier, der hierbei als (farbentüchtiger) Versuchsleiter fungierte, stellte ich ferner fest, dafs der Punkt im Spektrum, wo die Farbe aus Gelb ins Rötliche, d. h. zunächst ins Orange übergeht, für mich, den Dichromaten, fast genau mit derselben Schärfe festzustellen ist, wie für den normalen Trichromaten. Angaben über die Wellenlänge dieser Stelle im Spektrum vermag ich zurzeit noch nicht zu machen, da die von uns benützte Versuchsanordnung die hinreichend genaue absolute Bestimmung der Wellenlänge nicht gestattete. Diese Bestimmung wird mit besseren Vorrichtungen nachgeholt werden.

Wie ich schon in meinem Heidelberger Vortrage erwähnt habe, liegt der Gedanke sehr nahe, bei diesen und ähnlichen Versuchen eine verhängnisvolle Fehlerquelle darin zu finden, dafs bei Beobachtung auf grofsem Felde sich durch Beteiligung der Stäbchenerregung das Dämmerungssehen einmischen könnte. Man weifs ja, dafs der Dämmerungswert homogenen roten Lichtes sehr gering ist, dafs er schon im Orange und Gelb schnell ansteigt und im Grün zwischen 530 und 540 sein Maximum erreicht. Unter den Bedingungen des Dämmerungssehens, bei Dunkeladaptation und nicht zu grofsen Helligkeiten, nähert sich jedes Licht von beträchtlichem Dämmerungswert der charakteristischen Beschaffenheit des Dämmerungslichtes, seine Farbe nähert sich dem bläulichen Weifs, während das Rot unter den gleichen Bedingungen seine Qualität um so reiner bewahrt, je längerwellig es ist.

Besonders eindringlich läfst sich diese Erscheinung für den Dichromaten, speziell den Deuteranopen demonstrieren. Erfüllt man die eine Hälfte eines kreisförmigen Feldes, das unter dem Gesichtswinkel von 3—4° erscheint, mit homogenem Rot, etwa von der Wellenlänge 670 $\mu\mu$, die andere Hälfte mit Grün von der Wellenlänge 540 $\mu\mu$, so läfst sich für den Deuteranopen durch geeignete Helligkeitsregulierung bekanntlich völlig befriedigende Gleichung zwischen den beiden Farben erzielen, sobald das Auge helladaptiert ist. Anders dagegen, wenn dieses Feld mit den

peripheren Teilen der Netzhaut betrachtet wird, die beim Aufenthalt im Zimmer, wenn nicht besondere Vorkehrungen getroffen sind, immer einigermaſsen dunkeladaptiert sind. Hier wird die Gleichung sofort zur Ungleichung, das Rot bleibt leuchtend farbig, die andere (grüne) Hälfte des Feldes wird weiſslich.

Hierbei werden also die beiden objektiv verschiedenen Lichter trotz ihrer fovealen Gleichheit für den Dichromaten unterscheidbar, aber nur durch einen Sättigungsunterschied. Man braucht dem Rot nur die geeignete Menge weiſsen Lichtes zuzumischen, dann ist für den peripheren Netzhautteil die Gleichung wieder herstellbar.

Beruht nun die oben beschriebene Unterscheidungsfähigkeit des Dichromaten für Rot und Gelb, bzw. Grün nicht auch nur auf der Verwertung solcher Sättigungsdifferenzen?

Stellt man auf kleinem Felde, wie oben angegeben, eine gültige Gleichung zwischen Rot und Grün ein und vergröſsert, während der Dichromat das Feld betrachtet, den Gesichtswinkel, unter dem es für ihn erscheint, auf 10—20°, so tritt in der Tat eine Veränderung im gleichen Sinne auf, wie wir sie beim Übergang von fovealer zu peripherer Betrachtung eines kleinen Feldes auftreten sahen: die rote Hälfte des Feldes erscheint gesättigter farbig als die andere (vorausgesetzt nämlich, daſs sich die Versuchsperson in dem gewöhnlichen Zustand mittlerer Adaptation befindet, wie er sich beim Aufenthalt in mäſsig hellem Zimmer einstellt). Aber — das ist das Wesentliche —, die Sättigungsdifferenz ist nicht die einzige Verschiedenheit, die auftritt; wie schon oben bemerkt, ist es auf keine Weise möglich, durch Sättigungsverminderung auf der Rotseite die Gleichung auch für groſses Feld wiederherzustellen. Es bleibt die Farbendifferenz bestehen, um so deutlicher, mit je gröſserer Annäherung der gleiche Sättigungsgrad (soweit solcher bei Farbendifferenz zu beurteilen ist) erreicht wird.

Sorgt man durch gute Helladaptation, womöglich bei erweiterter Pupille, dafür, daſs das Dämmerungssehen auf groſsem Felde sich nicht einmischt, so tritt die erwähnte Sättigungsdifferenz bedeutend zurück, die Farbendifferenz dagegen um so mehr hervor.

Auch bei den Versuchen mit spektralem Licht ohne Vergleichsfeld, von denen oben die Rede war, wurde auf die Möglichkeit der Täuschung durch Sättigungsverschiedenheiten Bedacht

genommen. Wir beschränkten uns nicht darauf, die homogenen Lichter von Rot bis Grün von mir betrachten und benennen zu lassen, sondern richteten es so ein, dafs dem Rot seine Komplementärfarbe in wechselnder Menge beigemischt werden konnte, so dafs es in allen Sättigungsstufen bis herab zum blassen Rötlichweifs gezeigt werden konnte. Sah ich also das Gesichtsfeld mit einer blassen, ungesättigten Farbe erfüllt, so konnte ich a priori nicht wissen, ob diese Grün oder Blafsrot sei, konnte dies auch bei Betrachtung in kleinem, fovealem Felde keinesfalls erkennen. Der Augenschein bei Betrachtung im grofsen Felde aber liefs mich nicht im Zweifel darüber, ob Rot vorlag oder nicht.

Bei diesen Versuchen wurde übrigens stets für gute Helladaptation gesorgt; während Herr Dr. Angier ohne mein Wissen die eine oder andere Farbe einstellte, blickte ich auf eine von hellem Bogenlicht erleuchtete weifse Fläche.

Bemerkenswert und in guter Übereinstimmung mit den Beobachtungen an Kreiselgleichungen ist, dafs die Roterkennung mit Sicherheit nur dann erfolgte, wenn die Lichtstärke ziemlich grofs war. Bei geringeren Intensitäten versagte mein Unterscheidungsvermögen bei den ungesättigten Nuancen.

Alles in allem genommen, scheinen mir die beschriebenen Beobachtungen den Beweis zu liefern, dafs wirklich eine über die Leistungen des dichromatischen Sehorgans hinausgehende Unterscheidungsfähigkeit vorhanden ist, und nicht etwa eine Täuschung durch Einmischung des Dämmerungsapparates auf grofser Netzhautfläche vorliegt.

Es stellt sich nun die Frage, welcher Art der Farbensinn der Augen vom Typus der meinigen ist, im Falle dafs grofse Netzhautflächen gereizt werden. Wir sahen, dafs es sich um ein typisches dichromatisches System bestimmt nicht handeln kann, überhaupt um kein dichromatisches System im üblichen Sinne. Liegt nun eines der bekannten trichromatischen Systeme vor?

Ich bemerke vorweg, dafs mit den mir bis jetzt zur Verfügung stehenden experimentellen Hilfsmitteln diese Frage noch nicht eindeutig entschieden werden konnte. Der gegebene Weg ist natürlich der, mittels spektral zerlegten Lichtes auf grofsen Feldern (von mindestens 10°) die Einstellung derjenigen Mischungsgleichungen zu versuchen, die in bekannter Weise die typischen drei trichromatischen Systeme charakterisieren.

Zu diesem Zwecke reichten die für mich verfügbaren Farbenmischapparate nicht aus, da sie bei genügender Lichtstärke und Reinheit der Spektralfarben die Feldgröfse nicht über etwa 4° steigen lassen. Wollte man das Feld vergröfsern, so würde entweder die Lichtstärke oder die Reinheit in unzulässiger Weise vermindert werden. Es ist also eine Neukonstruktion notwendig, die in Vorbereitung steht.

Das bisher vorliegende Beobachtungsmaterial gestattet immerhin die Festlegung einiger nicht unwichtiger Punkte. Bei mir und den anderen untersuchten Dichromaten weist das Sehen auf grofsem Felde einige ganz bemerkenswerte Ähnlichkeiten mit dem Farbensehen der anomalen Trichromaten auf, wie es in den ersten Abschnitten dieser Abhandlung charakterisiert wurde, und zwar nicht nur mit dem peripheren sondern auch mit dem fovealen Sehen dieser Personen. Die sämtlichen oben genannten, von GUTTMANN[1] zusammengestellten sekundären Merkmale des Farbensinnes der Anomalen zeigen sich auch bei mir. Da es bisher nicht gelungen ist, zwischen diesen sekundären Merkmalen und dem inneren Wesen der anomalen Systeme, wie wir es auf Grund der Forschungen von KÖNIG und v. KRIES auffassen, einen ursächlichen Zusammenhang herzustellen, wäre es voreilig, zu behaupten, der Dichromat meiner Art sehe auf grofser Fläche genau so, wie der anomale Trichromat auf fovealem Felde. Das wichtigste Charakteristikum, die anomale Mischungsgleichung in der langwelligen Spektralhälfte, ist eben, wie gesagt, bei mir nicht nachgewiesen, und man kann daher zurzeit nicht mehr sagen, als dafs es nicht verwunderlich wäre, wenn dieses Charakteristikum auch noch nachgewiesen würde.

Die angedeuteten Ähnlichkeiten mit dem anomalen trichromatischen System liegen im folgenden:

1. Auf Feldern von nicht zu geringer Gröfse (2—3°), bei nicht zu geringer Helligkeit und hinreichender Sichtbarkeitsdauer erhält kein Anomaler eine Gleichung zwischen homogenem Rot und Gelb bzw. Gelbgrün; wohl aber bekommen manche Anomalen (die von mir oben provisorisch als „extreme" bezeichneten) Gleichung zwischen Gelb und Grün aus der Gegend der Thalliumlinie. Die Unterschiedsempfindlichkeit für Farbentöne in dieser

[1] Sitzungsber. I. Kongrefs für experimentelle Psychol. 1904.

Spektralregion ist für alle Anomalen herabgesetzt (Donders), bei einzelnen geradezu auf Null reduziert.

Das gleiche trifft bei einem Farbensinn meiner Art zu, wenn die Farben auf grofsem Felde dargeboten werden: Rot gibt mit Gelb oder Gelbgrün keine Gleichung, dagegen Gelb mit Gelbgrün.

2. Homogenes Rot (und Orange) verliert bei Herabsetzung der Intensität seine spezifische Farbigkeit für den Anomalen (im kleinen Felde von 2—3°) und gibt dann Gleichung mit lichtschwachem Gelb. Das geschieht bei einer Helligkeit, bei der der normale Trichromat noch deutlich Rot (bzw. Orange) sieht.

Was hier für den Anomalen auf kleinem Felde gilt, gilt für den Dichromaten meiner Art auf grofsem Felde.

Bezüglich des Grün trifft das gleiche bei Anomalen und Dichromaten in erhöhtem Mafse zu.

3. Wird homogenem Rot reichlich Blau zugemischt, so wird (auf kleinem Felde) vom Anomalen der Rotgehalt der Mischung schon nicht mehr bemerkt, wenn ihn der Normale noch deutlich erkennt. Violettaussehende Rot- und Blaumischungen sowie ein homogenes, kurzwelliges, für den Normalen schon ins Violette gehendes Licht hält der Anomale demgemäfs häufig für Blau.

Das gleiche gilt für den Dichromaten meiner Art auf grofsem Felde. Das Blau verdeckt auch für ihn das Rot.

4. Die Unterschiedsempfindlichkeit für Farbentöne im langwelligen Spektralteil sinkt für den Anomalen bedeutend bei Verkürzung der Expositionszeit. B e i h i n r e i c h e n d k u r z e r S i c h t b a r k e i t d e r F a r b e n f e l d e r s i e h t d e r A n o m a l e w i e e i n D i c h r o m a t (im f o v e a l e n S e h e n).

Auch für den Dichromaten meiner Art macht sich die Überlegenheit seines Farbensehens auf grofsem Feld über das rein dichromatische Sehen nur bei relativ langer Expositionszeit geltend. Damit der Dichromat auf grofsem Feld im langwelligen Spektralteil annähernd die gleiche Leistung an Unterschiedsempfindlichkeit für Farbentöne aufweisen kann, wie der Normale auf kleinem Feld, bedarf er einer viel längeren Beobachtungszeit als dieser. Bei kurzer Expositionszeit (beispielsweise $^{1}/_{10}$ Sek.) ist sein Sehen auch auf grofsem Felde ein rein dichromatisches.

5. Für die anomalen Trichromaten ist der Farbenkontrast in dem Gebiet der längerwelligen Farben in eigentümlicher Weise gesteigert. Reines Gelb erscheint ihnen grün, wenn lebhaftes Rot daneben sichtbar ist, rot wenn Grün daneben ist. Auch der

Successivkontrast ist gesteigert. Für die Dichromaten meiner Art trifft insofern ähnliches zu, als auf grofsem Felde Gelb, Weifs oder Grau neben lebhaftem Grün rot erscheint.

Ich möchte nun zunächst namentlich auf diesen letzten Punkt etwas näher eingehen, weil die hier erwähnten Erscheinungen bei dem Farbensehen der Dichromaten eine beträchtliche Rolle spielen, die bisher ganz unbekannt war.

Vor mehreren Jahren versuchte ich bei einem Grünanomalen (Dr. Guttmann) die Unterschiedsempfindlichkeit für Farbentöne in der Weise festzustellen, dafs auf einem Farbenkreisel die grofse Scheibe durch Mischung von Schwarz und Gelb braun gefärbt wurde, während auf der kleineren Scheibe, die ebenfalls Schwarz + Gelb enthielt, variable kleine Mengen von Rot oder Grün beigemischt wurden. Es stellte sich heraus, dafs wenn der Anomale die kleine Scheibe allein sah, beträchtliche Grünzumischungen unbemerkt blieben, während sie sofort bemerkt wurden, wenn gleichzeitig die Vergleichsscheibe sichtbar war; bemerkt aber wurde der Grünzusatz eigentlich nicht direkt und an und für sich, sondern dadurch, dafs das Vergleichsbraun rot oder orange wurde.

Während wir also die Grünmenge suchten, die eben erkennbar wäre, trat zu einer Zeit, wo das Grün als solches noch nicht erkennbar war, der kräftige Kontrast der unterschwelligen Farbe auf das Nachbarfeld deutlich auf.

Ganz ähnlich liegen nun die Verhältnisse bei mir, dem „Dichromaten“; nur gilt, was beim Anomalen schon auf kleinem Feld zutrifft, bei mir nur auf grofsem Felde, und es sind etwas stärkere Sättigungen nötig. Betrachte ich einen Farbenkreisel aus solcher Entfernung, dafs er mir unter einem Gesichtswinkel von nicht mehr als 4° erscheint, und lasse auf ihm aufsen ein Gelbbraun, innen ein Gelbgrün mischen, dafs unter den gegebenen Umständen für mich Gleichung mit jenem gibt, so wird diese Gleichung alsbald ungültig, sobald ich nahe an den Kreisel herantrete; nicht aber dadurch, das das Grün als solches sichtbar würde, sondern dadurch, dafs das Gelb orange bis rot wird. Das Gelb kann nach dem Urteil des Normalen selbst etwas grünlich sein; neben kräftigem Grün wird es für mich doch rot.

Noch prägnanter gelingt dieser Versuch, wenn aufsen ein gesättigtes, für den Farbentüchtigen schon ein wenig ins Bläuliche gehendes grünes (für den Dichromaten neutralgraues) Feld ge-

nommen wird, innen ein Grau, das für den Dichromaten dem Grün foveal helligkeits- und farbengleich erscheint. Aus der Nähe gesehen, erscheint mir die graue Scheibe in leuchtendem Karminrot.[1]

Es liegt hier ein äufserst seltsames Verhalten vor: Das Grün selbst kenne ich nicht als eine eigentliche Farbe, selbst bei grofsen Flächen erkenne ich es nicht, wenn es nicht sehr gesättigt ist. Vor allen Dingen habe ich niemals, unter keinen Umständen, etwa durch Nachbild eines Rotreizes oder durch Induktion von seiten einer roten Fläche aus eine Grünempfindung, wohl aber ausgeprägte Rotempfindung durch Induktion von seiten einer grünen Fläche oder als Nachbild eines gesättigten Grün. Ob eine Fläche grün ist oder nicht, kann ich tatsächlich nur daran mit Sicherheit erkennen, ob sie in einem neutralen Nachbarfeld durch Simultankontrast, oder im Nachbild Rotempfindung hervorruft. Dafs dagegen eine Fläche rot ist, kann ich entweder, wenn die Farbe genügend hell und nicht zu ungesättigt und das Feld genügend grofs ist, direkt, oder wenn das Feld zu klein, die Farbe zu dunkel oder allzublafs ist, gar nicht erkennen.

Es passiert mir sehr häufig, dafs ich nach zufälligem längerem Anblicken einer grünen Fläche (von deren grüner Farbe ich nichts weifs) durch das aufdringliche rote Nachbild frappiert werde und erst hierdurch mir bewufst werde, etwas grünes betrachtet zu haben. Geradeso wie die Kontrastwirkung auf fovealem Felde bei anomalen Trichromaten offenbar viel stärker ist als irgend ein Farbenkontrast beim normalen Trichromaten, so mufs auch die Kontrasterregung auf grofsen Flächen beim Dichromaten meiner Art wesentlich intensiver sein, als sie der Normale kennt.

---

[1] Unter Karminrot verstehe ich die Farbe des Karmin in fester Form oder einer Lithionkarminlösung in nicht zu dünner Schicht, also jedenfalls eine warme Farbe, im Gegensatz zu der kalten Purpurfarbe stark verdünnter oder in dünner Schicht gesehener Karminlösung.

Als besonders bemerkenswert registriere ich hier, ohne weiter auf sie einzugehen, die Tatsache, dafs mir auch ein noch auf der warmen Seite liegendes Grün ein warm-rotes, nicht purpurnes Nachbild erzeugt. Erleuchte ich eine Fläche von 30—40° Gesichtswinkel mit spektralem Licht von 540 $\mu\mu$, also einem ausgesprochenen warmen Licht, so erscheint mir nach plötzlichem Löschen der Lichtquelle oder Schliefsen der Augen das Gesichtsfeld nicht etwa rosa, sondern warm rot, etwa in dem Ton, den man als Erdbeerrot bezeichnet.

Blickt der Normale erst einige Sekunden auf eine lebhaft grüne und dann auf eine (etwa helligkeitsgleiche) graue oder braune Fläche, so sieht er wohl Andeutungen einer durch Kontrast erzeugten Rötung dieser Fläche, nicht aber eine so frappante, lang anhaltende Farbenveränderung, wie ich sie sehe.

Ein sehr in die Augen fallender Unterschied zwischen meiner Reaktionsweise und derjenigen vieler Anomalen liegt nur darin, daſs bei diesen auch die umgekehrte Kontrastwirkung auftritt, d. h. daſs Grau, Braun oder Gelb neben kräftigem Rot für sie Grün erscheint. Diese Erscheinung ist so konstant, daſs sie an jedem ungeübten Anomalen sich sofort konstatieren läſst, weshalb ich sie ja auch bei der im Abschnitt 5. besprochenen neuen Untersuchungsmethode geradezu als ein charakteristisches Erkennungszeichen verwendet habe. Diese Anomalen kennen eben die Empfindung grün wirklich, wenn sie auch bei kleinen Flächen, kurzer Sichtbarkeitsdauer, und geringer Sättigung und Helligkeit oft genug Verwechselungen mit Braun oder Grau machen. Sie vermeiden gerne die Bezeichnung grün, drücken sich gewissermaſsen um sie herum, wo sie können. Um so auffallender ist es daher, wenn sie mit solcher Bestimmtheit von Grün sprechen, sobald der Kontrast von seiten eines lebhaften Rot ihnen solches erscheinen läſst.

Es gibt jedoch auch Grünanomale, bei denen die Möglichkeit Grünempfindung zu haben, noch weit mehr eingeschränkt ist. Ein derartiger Grünanomaler ist Herr Professor Schumann, der über seinen Farbensinn selbst Beobachtungen angestellt und veröffentlicht hat.[1] Ihm fehlt, wie er versichert, die Grünempfindung völlig, während gleichwohl objektiv grünes Licht bei ihm im fovealen Felde durch Kontrast ein benachbartes weiſses Feld rot färbt.

Die von Schumann (a. a. O.) selbst gemachten Angaben

[1] Sitzungsber. I. Kongreſs für experimentelle Psychol. Gieſsen 1904. Schumann sagt (a. a. O.) es sei gut, daſs die „ungewöhnliche Form von Farbenblindheit", die er bei sich diagnostiziert, einen Psychologen betroffen habe, „da ein Laie bei der Untersuchung durch einen Physiologen wohl einfach in die Kategorie der anomalen Trichromaten eingereiht worden wäre".

Prof. Schumanns Fall ist tatsächlich keine Farbenblindheit. Es ist anomal trichromatisches System. Wo man wissenschaftlich von „Farbenblinden" spricht, versteht man darunter Dichromaten (oder Achromaten). Prof. Schumann tut nicht gut, hieran zu rütteln.

scheinen sich im wesentlichen auf Beobachtungen mit spektralen Lichtern, also wohl auf kleines Feld zu beziehen, und man erfährt nicht, ob der Farbensinn auf grofsem und kleinem Felde nennenswerte Unterschiede aufweist. Die von G. E. Müller in der Diskussion zu Schumanns Vortrag gemachten Angaben scheinen sich auf Kreiselgleichungen zu beziehen, also mindestens auf nicht ganz kleine Felder.

Es wird von hohem Interesse sein, wenn weitere Fälle von anomal-trichromatischem System, wie es bei Professor Schumann vorliegt, systematisch untersucht werden unter Berücksichtigung der zwei wichtigen Faktoren: Gröfse der gereizten Netzhautfläche und Dauer der Reizung. Einstweilen läfst sich noch nicht mit Bestimmtheit sagen, wie weit die Verhältnisse des fovealen Sehens bei Schumann und des Sehens auf grofsem Felde bei mir übereinstimmen. Schumann gibt an, dafs er Gleichung zwischen Weifs und Grün dann bekam, wenn er zwischen die beiden Felder einen 2—3 mm breiten Streifen legte, dessen Mitte er fixierte. Er tat dies, um „Randkontrast" und Successivkontrast zu vermeiden. Tatsächlich eliminierte er aber dabei fast den ganzen fovealen Netzhautbezirk[1] und es bleibt zunächst dahingestellt, wieviel von der Gleichungsmöglichkeit auf Kosten der Kontrastbeseitigung, wieviel auf Kosten des Ausfalles eines grofsen Teiles der Fovea gesetzt werden mufs. Auch kommt es ja bei derartigen Versuchen sehr auf die Dauer der Beobachtungen an, viel mehr als bei Beobachtungen normaler Trichromaten. Wie oben im Abschnitt 3. erwähnt, bekommt man von Anomalen vom Typus des Professors Schumann Gleichungen zwischen Gelb und leicht gelblichem Grün; aber auch diese Gleichungen haben nicht die Sicherheit und Bestimmtheit, wie etwa die typischen fovealen Mischungsgleichungen eines normalen Trichromaten oder eines Dichromaten. Sie werden von einer und derselben Person bald anerkannt, bald verworfen. Die genauere Feststellung der Bedingungen hierfür ist eine der nächsten Aufgaben auf diesem Gebiete.

Die hier in Frage kommenden Versuche stellen nicht geringe Anforderungen an die Versuchsperson. Ich habe mindestens ein Dutzend von Anomalen des Typus von Prof. Schumann untersucht,

[1] Die Versuche Schumanns sind am Helmholtzschen Farbenmischapparat ausgeführt, an welchem ein Streifen von 3 mm Breite unter dem Gesichtswinkel von nicht ganz einem Grad erscheint.

kann aber nicht mehr sagen, als dafs die Art ihres fovealen Sehens meinem Sehen auf grofsem Felde sehr ähnlich ist, während ich volle Übereinstimmung nicht behaupten möchte. Alle diese Personen bezeichneten übrigens bei Prüfung mit meinen Tafeln das Braun neben Rot ohne weiteres als Grün. Da die Leute im übrigen sich sehr ähnlich wie Prof. SCHUMANN verhielten, ist es leicht möglich, dafs auch dieser wie jene im rein fovealen Sehen und bei genügend langer Reizdauer einen Rest von Grünempfindung haben könnte.

In Rücksicht auf diese Frage habe ich mich ganz besonders bemüht festzustellen, ob bei mir irgend welche Anzeichen für das Vorhandensein einer Grünempfindung vorliegen, aber mit durchaus negativem Erfolg. Es ist mir oft passiert, dafs ich von einer grofsen farbigen Fläche mit Bestimmtheit zu erkennen glaubte, dafs sie leuchtend grün sei, — aber ich irrte mich. Besonders wichtig scheint mir auch, dafs selbst das leuchtendste Rot niemals durch Kontrast eine Grünempfindung hervorruft. Ist es ein gelbliches Rot, so wird Blauempfindung induziert, ist ein bläuliches Rot, Gelbempfindung.

Hierin scheint mir nun ein wesentlicher Unterschied zwischen meinem Farbensinn und demjenigen des Lokomotivführers SCH. zu liegen, über den ich früher (*diese Zeitschrift* **39**, S. 95) berichtet habe. Er war im fovealen Sehen ebenso sicher wie ich selbst Deuteranop; an gröfseren farbigen Objekten unterschied er aber auch grün und grau, wo es mir unmöglich war. Die Unterscheidung des Rot und Purpur von den deuteranopischen Verwechselungsfarben gelang dem SCH. auch bei beträchtlich kleinerem Gesichtswinkel, als ich ihn benötige.

Leider war, wie ich schon früher mitteilte, die genauere Untersuchung des so eigenartigen Falles aus besonderen Gründen nicht möglich, und so mufs ich mich auf die Erwähnung der zwei Möglichkeiten beschränken, die sich hier aufdrängen: SCH. und ich sehen auf kleinem Feld deuteranopisch, auf grofsem nicht; beruht nun seine Überlegenheit beim Sehen auf grofsem Felde auf einem nur graduellen Unterschied, so dafs sein Farbensehen auf grofsem Felde sich zu dem meinigen verhält, wie das Farbensehen auf kleinem Felde bei einem der gewöhnlichen Grünanomalen (LOTZE[1], GUTTMANN) zu dem eines extrem Grün-

[1] Untersuchung eines anomalen trichromatischen Systems. Dissertation. Freiburg 1898.

anomalen (Schumann)? Oder hat der Lokomotivführer Sch. auf grofsem Felde ein normales trichromatisches System, ich dagegen ein grünanomales?

Alle Wahrscheinlichkeit spricht ja für die erstere Eventualität, aber Sicherheit liegt nicht vor. Hoffentlich gelingt es bald, diesen oder einen ähnlichen Fall zur Untersuchung mit vervollkommneten Hilfsmitteln heranzuziehen.

Die bisher gemachten Erfahrungen legen die Vermutung nahe, dafs es unter den Personen mit foveal rein dichromatischem Sehen vielerlei Unterabteilungen ohne scharfe Grenzen gibt, deren Sehen auf grofsem Felde sich ebenso sehr unterscheidet, wie das foveale Sehen der anomalen Trichromaten: eine lückenlose Reihe von denjenigen Personen an, denen man kaum eine Spur von Farbenschwäche anmerkt (Lotze), zu den deutlicher Farbenschwachen (Guttmann, Levy [1]) und endlich zu den extremen Anomalen (Schumann u. a.) Diese Reihe unter den Dichromaten wiese die gleichen Symptome in wachsendem Mafse auf, die wir oben als sekundäre Merkmale der Anomalen kennen lernten. Dahingestellt bleibt zunächst, ob das die Anomalen primär und wesentlich Charakterisierende, das Verhalten gegen Mischungsgleichungen in der warmen Spektralhälfte, im grofsflächigen Sehen der Dichromaten sich wird ebenfalls nachweisen lassen.

Von besonderem Interesse wird es sein, ob sich, nachdem ich mich selbst gewissermafsen als unvollständigen Dichromaten „entlarvt" habe, überhaupt noch echte, vollständige Dichromaten finden werden, d. h. solche, die auch auf gröfstem Felde rein dichromatisch sehen. Bei solchen müfste die Rotempfindung auch noch fehlen, oder, richtiger gesagt, die Unterschiedsempfindlichkeit zwischen Rot und Gelb gleich Null werden, wie sie es bei mir zwischen Grün (540) und Gelb ist. Ob das vorkommt? Wir kennen wohl eine zusammenhängende Reihe von

[1] Über einen zweiten Typus des anomalen trichromatischen Farbensystems etc. Dissertation. Freiburg 1903.

NB. Ich führe die Namen Lotze usw. als Vertreter der Typen an, weil dieses Anomale sind, die sich selbst publizistisch geäufsert haben. Ich kenne freilich Fälle, bei denen die Schwäche des Farbensinns noch wesentlich weniger hervortritt, als bei Lotze, und andererseits solche, bei denen die hier als für Prof. Schumann charakteristisch angeführten Symptome noch prägnanter hervortreten. Doch dürfte klar sein, welche Eigenschaften ich mit jenen Namen vorzugsweise festlegen wollte.

Farbensinnsarten, in der die Grünempfindung successive immer mehr verschwindet. Wir wissen bis jetzt nichts hinsichtlich einer ähnlichen Reihenbildung in der Rotempfindung.

Wahrscheinlich ist es freilich, dafs auch hierin Unterschiede vorkommen; sicher vorhanden sind sie hinsichtlich der zeitlichen Verhältnisse der Farbenempfindung. Unter gewissen Bedingungen, d. h. bei einem Rot bestimmter Sättigung, Nuance und Helligkeit brauche ich ebensoviele Sekunden, um das Rot zu empfinden und zu erkennen, als der Normale Hundertstelsekunden braucht. Die Grünanomalen rangieren (ich kann hier nur schätzen, da genauer messende Versuche mir fehlen) zwischen dem Normalen und mir, und differieren sicherlich ganz bedeutend untereinander.

Auch in anderer Hinsicht steht bei den Anomalen die Erkennungsfähigkeit für Rot nicht auf der Höhe des Normalen. Bei sehr kleinem Felde ($^1/_{10}{}^0$ und darunter) sind sie in der Unterscheidung von Rot und Gelb unsicher. „Minimalfeldhelligkeiten“, wie sie v. Kries durch Siebeck (*diese Zeitschrift* **41**, S. 89) unlängst bestimmen liefs, würden die Anomalen voraussichtlich an wesentlich gröfseren Feldern noch bestimmen können.

Es fehlt also nicht an Hinweisen auf Beeinträchtigung auch der Rotempfindung bei Grünanomalen. Dagegen kennt man meines Wissens keinen Fall, in dem die Rotempfindung sehr erheblich, die Grünempfindung sehr wenig beeinträchtigt wäre. Keinesfalls können in diesem Zusammenhange die Rotanomalen als Beispiel genannt werden, denn auch bei ihnen äufsert sich die „Farbenschwäche“ ganz vorzugsweise in der Verwechselung von Grün und Grau. Auch bei den Rotanomalen ist von den Farbenempfindungsqualitäten die Grünempfindung am deutlichsten beeinträchtigt.

Wufste man schon bisher sehr wohl, dafs die subjektive, psychologische Gliederung der Farben*empfindungen* von der physiologischen Komponentengliederung der Farbensysteme scharf getrennt gehalten werden müsse, so bilden doch die eben erwähnten Tatsachen besonders überzeugende Illustrationen hierzu. Es ist gewifs nicht überflüssig, diese Tatsachen eindringlich hervorzuheben; ist doch das, was so viele an der Gegenfarbentheorie besticht, der Umstand, dafs diese so viel verspricht, dafs sie die psychologische Ordnung der Farbenempfindungen und die physiologischen Gesetze der Erregung im lichtempfindlichen

Apparat in eine sehr enge und einfache Verbindung setzen will. Gerade die Basierung auf den Hauptfarbenqualitäten hat HERINGS Lehre so viele Freunde unter den Psychologen und den Ophthalmologen gewonnen. Darum verdient es hervorgehoben zu werden, dafs das eigentliche Prinzip der eng zusammenhängenden Gegenfarben in vielen Fällen durchbrochen ist: Man kennt zahllose pathologische Fälle, wo in evidenter Weise rein nur die Grünempfindung oder die Gelbempfindung ausgelöscht ist; man kennt anomale Trichromaten, die kräftige Rotempfindung haben, aber der Grünempfindung völlig ermangeln. Hierzu gesellt sich jetzt als dritte Tatsachenreihe das Sehen der Dichromaten meiner Art auf grofsem Felde, mit erhaltener Rotempfindung und gänzlichem Fehlen einer Grünempfindung.

Die neue Erfahrung, dafs es Personen mit dichromatischem und trichromatischem Farbensystem im gleichen Auge gibt, eröffnet bemerkenswerte Aussichten. Vor allem wird die Beziehung zwischen Dichromaten und anomalen Trichromaten wesentlich klarer als bisher festgestellt werden können. Aber auch für die psychologische Betrachtung des Farbensinns müssen sich neue Wege öffnen, sobald man in die Lage gesetzt sein wird, quantitative Untersuchungen des Farbensinns auf grofsen Netzhautflächen mit der gleichen Genauigkeit zu machen, wie es auf fovealen Feldern schon längst möglich war.

Ich habe im vorhergehenden geflissentlich fast nur von Deuteranopen und Grünanomalen gesprochen, dagegen Protanopen und Rotanomale beiseite gelassen, weil erstere mir, dem Deuteranopen naturgemäfs näher liegen. In aller Kürze aber möchte ich erwähnen, dafs ich auch bei einigen Protanopen den bestimmten Eindruck gewonnen habe, dafs sie auf grofsem Felde kein rein dichromatisches Sehen haben, sondern sich wie Rotanomale verhalten. Näheres hoffe ich bald mitteilen zu können.

Endlich noch einen Streifblick auf die praktische Seite der Sache. Aus dem Umstande, dafs ich und andere Deuteranopen auf grofsem Felde nicht mehr dichromatisch sehen, erklärt sich leicht, warum so viele Deuteranopen die Wollprobe so glatt bestehen, namentlich die Purpurprobe. Die Wollbündel präsentieren sich unter einem Gesichtswinkel, der grofs genug ist, um Rotempfindung entstehen zu lassen. Die Langsamkeit, mit der sich die Rotempfindung entwickelt, erklärt die Langsamkeit der Wahl. Der Lokomotivführer SCH., der auch die grünen und grauen Woll-

bündel unterscheiden konnte, wenn auch langsam (und kaum mit Hilfe des Kontrastes, wie ich es kann), mufs, wie schon oben erwähnt, schon auf weit kleineren Feldern trichromatisch gesehen haben, trotz seiner rein dichromatischen Fovea, denn er konnte an meinen Farbentafeln und an Stillings Tafeln, wenn er sie nahe ans Auge brachte, Farbenunterscheidungen machen, die jenseits der Möglichkeit beim dichromatischen Sehen liegen. Solche Fälle scheinen extreme Seltenheiten zu bleiben, während wohl die überwiegende Zahl der Deuteranopen sich verhält, wie ich es tue. Ich kann an Stillings und meinen Tafeln die roten Punkte bei Lupenvergröfserung erkennen.

Berücksichtigt man, dafs sowohl beim Eisenbahndienst wie in der Marine das Erkennen kleiner farbiger Objekte (weit unter der Foveagröfse) in kurzer Zeit notwendig ist, so wird zugegeben werden müssen, dafs die oben mitgeteilten neuen Beobachtungen aufs eindringlichste gegen eine Methode der Farbensinnsprüfung sprechen, bei der relativ grofse farbige Flächen dem Auge lange dargeboten werden, wie es bei der Wollprobe unvermeidlich ist. Prüfung des fovealen Farbensinnes mufs mafsgebend sein.

Nachtrag während der Korrektur.

In den letzten Wochen, nach Abschlufs der obenstehenden Mitteilungen ist es mir gelungen, in der Untersuchung des Farbensehens der Dichromaten meiner Art auf grofsem Felde um einen Schritt weiter zu kommen und die Ähnlichkeit meines Farbensehens mit dem der Grünanomalen noch evidenter zu erweisen. In Gemeinschaft mit Frau Lilienfeld und Herrn Dr. Vaughan (beide normale Trichromaten) habe ich am Farbenkreisel Rot-Gelbgrünmischungen hergestellt. Es wurde dasjenige Mischungsverhältnis aufgesucht, bei dem für die Normalen die Mischfarbe gelblich ohne Beiklang von rötlich oder grünlich erschien. Dazu waren unter den gegebenen Verhältnissen meist 180° von jeder der beiden Farben nötig. Die Zahlen lagen zwischen 178 und 182. Unter gleichen Bedingungen erscheint für mich diese Mischung, aus der Nähe betrachtet, also bei sehr grofsem Feld, stark rot. An einem sehr trüben, dunklen Beobachtungstage brauchte ich nur 140 bis 150° Rot, um die Schwelle zu erreichen, bei der der Umschlag von Rot in „Nicht-

Rot“ erfolgte. Die Schwankungsbreite betrug etwa 8 bis 10°. Eine Grenze zwischen Gelb und Grün vermag ich nicht aufzufinden, die gröfsten Änderungen in der Mischung jenseits der angegebenen Grenze ändern für mich am Aussehen der Mischung nichts.

An einem sehr hellen, sonnigen Tage verschob sich das Verhältnis noch mehr. Auf der hell beleuchteten Kreiselscheibe erschien für mich Rot schon bei 100° Rotbeimischung deutlich. Die Grenze lag zwischen 89 und 95°, während sie für den Normalen unverändert in der Gegend von 180° geblieben war.

Durch Variierung der Helligkeit und Sättigung der Mischfarben, die, wie auch natürlich das eingestellte Mischungsverhältnis dem Beobachter unbekannt blieb, wurde dafür gesorgt, dafs die Entscheidung, ob Rot oder Nicht-Rot gesehen wurde, wirklich nur auf Grund einer bestimmten spezifischen Rotempfindung und nicht auf Grund eines Sättigungs- oder Helligkeitsunterschiedes gefällt wurde.

Es wird später über diese Versuche genauer berichtet werden.

(Eingegangen am 25. Oktober 1906.)

Ein Fall von Simulation einseitiger Farbensinnstörung.

Von
Dr. Alfred Guttmann (Berlin).

Während der Augenarzt, besonders der Bahnaugenarzt, häufig Fälle von Dissimulation einer Farbensinnstörung beobachten kann, kommt die Simulation von Farbensinnstörungen recht selten vor. Wenn es sich nicht um die Erreichung bestimmter Zwecke, wie z. B. das Erhalten einer Unfallrente oder das Freikommenwollen von einem Berufe, in dem Farbentüchtigkeit Bedingung ist, handelt, erscheint ja auch die Simulation einer derartigen Anomalie sinnlos, während die Dissimulation zur Erreichung von Anstellungen verschiedener Art, die sonst dem Betreffenden verschlossen wären, psychologisch wohl erklärlich ist. Aber nicht nur aus dem Grunde des seltenen Vorkommens derartiger Simulation will ich den von mir beobachteten Fall veröffentlichen, sondern auch darum, weil diese Simulantin, ein Kind von 11 Jahren, ihre Fiktion in so raffinierter und konsequenter Weise durchführte, dafs sie eine Anzahl von Sachverständigen längere Zeit in Atem hielt, bis ihre Entlarvung gelang.

Das Mädchen, Luise W., ist das älteste Kind aus der Familie eines Privatbeamten; nach Angaben der Eltern und Lehrer ist irgendwelche Abnormität körperlicher oder geistiger Art bei ihr nicht beobachtet worden; sie lernt gut und gilt als zuverlässig. Aufser einer Erkrankung an Scharlach im sechsten Jahre, die ohne Komplikation verlief, war sie stets gesund; seit einem Jahr leidet sie an häufigen Entzündungen der Augenlider.

Bei einer Schulkinderuntersuchung fiel mir auf, dafs L. W. die Nagelschen Tafeln zur Untersuchung des Farbenunterscheidungsvermögens, über deren diagnostische Bedeutung und Anwendung Näheres in Professor Nagels diesbezüglicher Publikation (s. *diese Zeitschrift* **1** (4), S. 273 ff.) nachgelesen werden

kann, nur zögernd und unsicher bezeichnete und fortgesetzt versuchte, näher als vorschriftsmäfsig an die Tafeln heranzutreten. Ich vermutete zunächst, dafs es sich um eine anomale Trichromatin (Farbenschwache) handele, da derartige Personen, wie ich feststellte, sich fast immer so verhalten.[1] Auf meine Frage, ob sie etwa auf einem Auge oder überhaupt schlecht sehe — denn stark Kurzsichtige benehmen sich zunächst ähnlich — antwortete sie mir, sie sähe mit dem einen Auge „anders" wie mit dem anderen. Ich prüfte daher beide Augen einzeln und fand, dafs das rechte Auge einen normalen Farbensinn hatte. Die Angaben über die mit dem linken Auge beobachteten Farben waren unsicher in bezug auf die Abteilung A der Nagelschen Tafeln, wenn auch im ganzen richtig. Bei Abteilung B nannte sie jedoch „rot und braun" konstant „rot und grün"; auf der Tafel B4, die der Differentialdiagnose zwischen den beiden Typen der Anomalen gilt, bezeichnete sie das Grün als „heller als rot". Da ich wenige Tage vorher den ersten bisher beobachteten Fall von anomaler Trichromasie bei einer Frau gefunden hatte (über den ich in *dieser Zeitschrift* in Kürze berichten werde), so glaubte ich nun um so mehr die Duplizität der Fälle auch hier zu erleben. Jedoch eine sorgfältige Nachprüfung mit den Nagelschen Tafeln am nächsten Tage ergab merkwürdigerweise, dafs — bei normalem rechten Auge — das Kind mit dem linken Auge etwa die Fehler machte, die der Deuteranop macht. Am folgenden Tage prüfte ich das Kind nochmals, diesmal in der elterlichen Wohnung; das Resultat war: wenn das Kind mit dem linken Auge beobachtete, erkannte es alle Unterschiede zwischen rot und grün, zwischen grau und grün, zwischen gelbgrün und blaugrün, vermochte aber keine Farbe zu benennen, (jedoch alle mit dem rechten Auge gesehenen Farben). Allmählich lernte es dann, alle Farben richtig zu benennen, nur rot erkannte es nicht. Alle roten Farben nannte es „dunkel", aber „völlig farblos", und verwechselte sie untereinander.

Bei dieser Art der Bezeichnung blieb das Kind von nun an konstant, trotz aller Versuche, etwaige Simulation zu entlarven, die von den Eltern aufs bereitwilligste unterstützt wurden. Bestärkt wurde ich in meiner Annahme, dafs hier eine noch un-

---

[1] s. Bericht über den I. Kongrefs für exper. Psychol. in Giefsen 1904. Joh. Ambros. Barth, Seite 16ff.

bekannte Anomalie „dahinterstecke“, durch folgende Angaben: die Mutter erzählte mir spontan, dafs das Kind auch sonst bei roten Farben unsicher sei, rote Strafsenbahnlaternen nenne sie in gröfserer Entfernung „blau“, ihre roten Kleider erkenne sie schlecht u. dgl. Das Kind selber erzählte mir ein andermal, es wisse schon lange, dafs es rot mit dem linken Auge nicht sehe: als der Lehrer einmal mit roter Tinte geschrieben habe, habe sie sich das rechte (also angeblich gesunde) Auge mit der Hand gerieben und dabei sei ihr die Tinte auf einmal „schwarz“ erschienen; als sie das rechte Auge nun wieder geöffnet habe, sei ihr sofort die rote Farbe wieder deutlich geworden.

Ich stellte wenige Tage später das Kind im physiologischen Institut Herrn Professor Dr. Nagel und Herrn Dr. Simon vor, die meine Beobachtungen bestätigen konnten und mir bei den weiteren Untersuchungen freundlichst behilflich waren, wofür ich ihnen hiermit besten Dank abstatte. Herr Dr. Simon war aufserdem so freundlich, die augenärztliche Untersuchung vorzunehmen, die nichts Pathologisches ergab. Nun wurden im Institut eine Anzahl Untersuchungen ausgeführt, die dahin abzielten, das Kind zu entlarven. Es würde zu weit führen, alle Etappen zu beschreiben. Ich nenne nur einiges, um zu zeigen, wie absonderlich und unverständlich die Aussagen oft waren. Die Untersuchung mit Spektralfarben mufste — so liefs sich erwarten — sehr schnell Klarheit schaffen. Zunächst wurden also dem Kind Scheingleichungen zwischen Rot und Gelb gezeigt und zwar sowohl in den Helligkeitsverhältnissen, wie sie der Grünblinde (Deuteranop) als wie sie der Rotblinde (Protanop) anerkennt. Beides erklärte das Kind für ungleich. Sodann wurden die Rayleighschen Mischungsgleichungen eingestellt: das Mischungsverhältnis von Rot (ca. 670 $\mu\mu$) und Grün (ca. 545 $\mu\mu$), das der Normale braucht, um eine Gleichung mit einem homogenen Gelb (589 $\mu\mu$) zu erhalten, erkannte das Kind an. Das Verhältnis Rot: Grün, das der Grünanomale braucht, um diese Gleichung zu erzielen, wurde hingegen nicht anerkannt. Wenn nun das Kind bei der dritten Gleichungsdarbietung, nämlich der des Rotanomalen, dies Mischungsverhältnis ebenfalls verwarf, war es eben normal und die Simulation war bewiesen; liefs es jedoch die Gleichung gelten, so war wiederum Simulation bewiesen, da es dann rotanomal sein müfste; kein Rotanomaler erkennt aber die Normalengleichung an. Jedoch bei der Darbietung dieser

Gleichung zeigte das Kind ein eigentümliches Verhalten: die beiden Halbkreise erschienen ihm angeblich „sehr ähnlich“, nur auf der einen, für das normale Auge roten (und viel zu hellen) Seite „zu dunkel“. Durch Verdunkeln der anderen (gelben) Seite gelang es dann, eine absolut befriedigende Gleichung zu gewinnen! Dieses ganz bestimmte Helligkeitsverhältnis blieb merkwürdigerweise bei wiederholten Kontrollversuchen konstant; es war eine Spaltweite von 6 Strich, während der Rotanomale unter den hier gewählten Bedingungen eine etwa viermal so grofse Spaltweite brauchen würde. Es müfste sich also hiernach um eine Art der Farbenanomalie handeln, in der der Reizwert des roten Lichtes — und dieser allein — enorm herabgesetzt ist, nämlich etwa noch viermal so stark wie beim Rotanomalen! Dazu würde das konstante Bezeichnen aller roten, auch der hellroten Gegenstände, als „dunkel“ passen; ihm widerspricht jedoch die Anerkennung der Normalengleichung. Sodann wurden zwei Weifsmischungen aus komplementären Farben hergestellt, die eine aus Rot-Grün, die andere aus Gelb-Blau. Die für den Normalen gültige Mischung wurde anerkannt! Ferner wurde das Kind mit einem von Dr. Simon konstruierten Apparat untersucht, dessen kreisförmige, von rückwärts beleuchtete Scheibe aus einem roten Glas bestand; vor die eine Hälfte war aufserdem noch ein blaues Glas gesetzt. Diese violette und sehr viel dunklere Seite wurde nun von dem Kind als die hellere bezeichnet! Somit war die Wahrscheinlichkeit grofs, dafs das Kind „rot“ einfach „dunkel“ nannte, weil hier dasselbe Rot für sich allein dunkler genannt wurde, als dort, wo es, noch durch blau verdunkelt, dem Kinde im Violett unerkennbar war.

Die endgültige Entlarvung gelang schliefslich durch das Pseudoskop. Der von mir benutzte, ganz leicht aus Pappe herstellbare Apparat, den ich sehr empfehlen kann, ist ausführlich von R. Wick beschrieben in der *Zeitschrift für Augenheilkunde* als der Maréchalsche Spiegelapparat.[1] Das Prinzip beruht darauf, dafs man durch zwei Gucklöcher in einen von oben beleuchteten Kasten sieht, in dem man an der gegenüberliegenden Wand einen kleinen Spiegel erblickt; in diesem sieht man (aufser den eigenen Augen) die Gucklochwand des Kastens und die im Innern seitlich von den Gucklöchern angebrachten Objekte, die

[1] R. Wick. Über Simulation von Blindheit und Schwachsichtigkeit und über deren Entlarvung. *Zeitschrift für Augenheilkunde* 4. 1900.

beurteilt werden sollen. Dieser Spiegel ist aber so bemessen, dafs man nicht (wie man nach dem Augenschein mit Sicherheit erwartet) die beiderseits angebrachten Objekte mit beiden Augen sieht — vielmehr erblickt man mit dem linken Auge nur das rechts vom rechten Guckloch befindliche und mit dem rechten Auge nur das links vom linken Auge befindliche.

Ich klebte nun auf beide Seiten je ein helles, rotes und ein dunkles, grünes Farbpapier von derselben Art dicht nebeneinander auf, so dafs man mit jedem Auge rot und grün beiderseits sah. Und nun gab das Kind zögernd an: „Rechts sehe ich grüne Farbe und etwas Dunkles, links dasselbe". Damit war die Simulation evident, denn, wenn es wirklich mit dem linken Auge „rot" als „dunkel" sah, so hatte es bis dahin mit dem rechten Auge rot doch stets und sofort richtig erkannt. Hier nun wurde es durch die Spiegelung offenbar verwirrt und gab nun auch diese rätselhafte Anomalie auch auf dem „gesunden" Auge an.

Es handelt sich also um eine farbentüchtige Person, die, aus mir unbekannten Gründen, vielleicht nur, um sich vor den anderen Kindern „hervorzutun", es durchführte, alle roten Objekte als farblos und zwar als „dunkel" zu bezeichnen. So einfach es auch nach diesen Ausführungen erscheinen mag, das Kind zu entlarven, so schwierig war es in der Tat, da man ganz sicher sein mufste, dafs man nicht mit der bequemen und schnellen Diagnose „Simulation" irgend eine merkwürdige und durch die Einseitigkeit doppelt merkwürdige Anomalie ununtersucht liefs. Unter den ca. 3000 von mir in den letzten Jahren auf Farbensinnstörungen untersuchten Personen (von denen ich einen Fall von bisher noch nicht beobachteter Art, der längere Zeit den Eindruck der Simulation machte, publiziert habe[1]) bin ich wohl nie so lange im Ungewissen gewesen, wie hier. Und ebenso erging es Professor Nagel und Dr. Simon, die so grofse Erfahrung auf diesem Gebiete haben. Als Kuriosum möchte ich übrigens noch erwähnen, dafs eine Klassenkameradin der L. W., nachdem sie meine Fragen an dieses Kind gehört hatte, ebenfalls einseitige Farbenblindheit simulierte, jedoch schnell entlarvt wurde, — ein Schulfall von psychischem Kontagium.

[1] s. *diese Zeitschrift* 41, S. 45 ff.

(Eingegangen am 6. September 1906.)

(Aus dem physiologischen Institut zu Freiburg i. B.)

Über den Einflufs des Helligkeitskontrastes auf Farbenschwellen.

Von

Roswell P. Angier.

Assistent an dem physiologischen Institut zu Berlin.

Bei Untersuchungen über simultanen Helligkeits- oder Farbenkontrast sind vier grundlegende Anordnungen oder Versuchsbedingungen möglich. Erstens und zweitens ein ungefärbtes oder ein farbiges Feld auf einem farbigen Hintergrund (Farbenkontrast), drittens ein farbloses Feld auf einem farblosen Hintergrund (einfacher Helligkeitskontrast) und viertens ein farbiges Feld auf einem farblosen Hintergrund, die notwendige Bedingung zur Feststellung etwaiger Beziehungen zwischen Helligkeitskontrast und der Wahrnehmung von Farben. Von diesen vier Anordnungen sind die ersten drei wiederholt Gegenstand genauer Untersuchungen gewesen; mit der vierten dagegen sind meines Wissens niemals erschöpfende Versuche angestellt worden.

Da alle herrschenden Kontrasttheorien auf den wohlbekannten Gesetzen entweder der Helligkeits- oder der Farbenkontraste aufgebaut sind und jedes dieser Gebiete getrennt behandeln, lassen sie uns keineswegs vermuten, selbst wenn sie zur Erklärung der Erscheinungen ausreichten, dafs irgend ein Einflufs der Helligkeitskontraste auf die Wahrnehmung von Farben bestehe. Die Untersuchung dieses Einflusses hat daher nicht nur ein bedeutendes theoretisches Interesse, sondern sie bildet auch, wie ich schon andeutete, den logischen Abschlufs

der Reihe der möglichen prinzipiellen Fragestellungen auf dem Gebiete des Simultankontrastes.

Bei Versuchen über peripherisches Farbensehen hatte allerdings Aubert[1] schon gefunden, dafs ein Farbenfleck auf hellem Hintergrunde seine charakteristische Färbung früher, d. h. näher an der Fovea verlor, als wenn er sich auf einem dunklen Hintergrund befand. Trotzdem ist diese Tatsache, die doch beweist, dafs zum mindesten unsere peripherische Farbenempfindung durch solche Helligkeitsunterschiede beeinflufst wird, bisher als ein mehr oder weniger zufälliger Nebenumstand behandelt worden, da sie weder als Erscheinung für sich genauer untersucht worden ist, noch in der Methodik der Untersuchungen über das peripherische Farbensehen genügende Beachtung gefunden hat.

Die Frage, mit der ich mich in dieser Arbeit besonders beschäftigen will, ist bisher nur von v. Kries[2] in den folgenden Sätzen einer kürzlich von ihm veröffentlichen Abhandlung erwähnt worden.

„Es zeigt sich nämlich, dafs vielfach die für eine Gesichtsfeldstelle zu ermittelnden Schwellenwerte durch starke Belichtung der Umgebung erheblich verschoben werden können. So ist vor allem leicht zu bemerken, dafs kleine farbige Objekte ihre Farbe einbüfsen, wenn man sie vor einem sehr hellen Hintergrund betrachtet, während die Farbe deutlich hervortritt, wenn man den Hintergrund durch einen dunkleren ersetzt. Auch geringe Helligkeits- oder Farbendifferenzen zweier aneinanderstofsender kleiner Felder kann man durch starke Belichtung der Umgebung unmerklich machen."

Auf die Anregung des Herrn Geh. v. Kries unternahm ich es, diese Erscheinung genauer zu untersuchen. Erstens wollte ich die zugrunde liegende Tatsache unter verschiedenen Versuchsbedingungen bestätigen, zweitens aber auch feststellen, ob die Intensität des farbigen Lichtes, die erforderlich ist, um eine Farbe auf den Schwellenwert zu bringen, zu den Werten des Helligkeitskontrastes zwischen dem farbigen Feld und dem farblosen Hintergrund in quantitativ bestimmbarem Verhältnis steht

[1] Aubert: Grundzüge der physiol. Optik. Leipzig, 1876. S. 541—543.

[2] v. Kries. Nagels Handbuch der Physiologie des Menschen. Bd. III, S. 241. Braunschweig, 1904.

oder nicht. Diese Versuche wurden in dem Wintersemester 1904/05 ausgeführt und ich ergreife mit Vergnügen diese Gelegenheit Herrn Geh. v. Kries für die Anregung zu dieser Arbeit und seine stets bereitwillige Unterstützung meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Die bei diesen Versuchen verwendeten technischen Hilfsmittel hatten die folgenden Bedingungen zu erfüllen. Erstens muſste die Intensität des farbigen Lichts, das eine kleine Fläche in der Mitte eines groſsen farblosen Hintergrundes beleuchtete und dessen Schwellenwert ermittelt werden sollte, innerhalb möglichst weiter Grenzen veränderlich sein. Ferner muſste die objektive Intensität des farbigen Feldes und des Hintergrundes unabhängig voneinander durch Hinzufügen von weiſsem Licht von 0 bis zu einer möglichst hohen Grenze gesteigert werden können. Waren diese beiden Erfordernisse gegeben, so konnten die Versuchsbedingungen bei Ermittlung der Schwellenwerte nach drei verschiedenen Richtungen variiert werden und zwar

a) Änderung der Helligkeit des farbigen Feldes allein mit Hilfe von weiſsem Licht.

b) Änderung der Helligkeit des Hintergrundes allein.

c) Gleichzeitige Änderung der Helligkeit beider Felder in demselben Sinne, d. h. so, daſs beide Felder durchweg gleiche Helligkeit behielten. Diese Variation will ich in Zukunft als „parallele Änderung“ bezeichnen. Unter den Versuchsbedingungen a) und b) würde zwischen Hintergrund und farbigem Feld ein Helligkeitskontrast bestehen, bei dem Versuch c) dagegen nicht. Diese drei Fälle umfassen alle möglichen Beziehungen zwischen den Intensitäten des farbigen Beobachtungsfeldes und des Hintergrundes.

Die beigefügte Skizze der Versuchsanordnung (Fig. 1) wird, denke ich, genügen, die wesentlichen Einzelheiten anschaulich zu machen. Der Hintergrund oder das äuſsere Feld wurde durch einen groſsen Bogen weiſse Pappe, *K*, gebildet und das farbige oder innere Feld durch ein rundes Loch (*IF*), ca. 1 cm im Durchmesser, so daſs es sich ganz auf die Fovea abbildete, in der Mitte dieses Bogens.

Der Hintergrund, der um ihn für Licht gänzlich undurchlässig zu machen mit Stanniol hinterklebt war, war in einer Öffnung in der Wand zwischen zwei Zimmern so aufgehängt, daſs auſser durch die Öffnung *IF* kein Licht von dem einen in das andere

Zimmer gelangen konnte. Der Rand der Öffnung *IF* wurde sorgfältig glatt abgeschnitten, um zwischen dem inneren und dem äufseren Feld eine scharf abgesetzte Grenze herzustellen. Das äufsere Feld empfing sein Licht von einem Auerbrenner *WA* (äufseres Weifs), der in einen mit einer Öffnung versehenen schwarzen Zylinder eingeschlossen war. Um die Intensität des Lichtes nach Belieben verändern zu können, war der Brenner auf Schienen (S^1) von etwa 400 cm Länge verschiebbar angeordnet. Das innere Feld wurde von den beiden Auerbrennern *WI* (inneres Weifs) und *FL* (farbiges Licht) erhellt. Das von *WI* ausstrahlende Licht fiel zuerst auf eine an dem schmalen Ende des Trichters T^2 aus schwarzer Pappe befindliche Milchglasscheibe

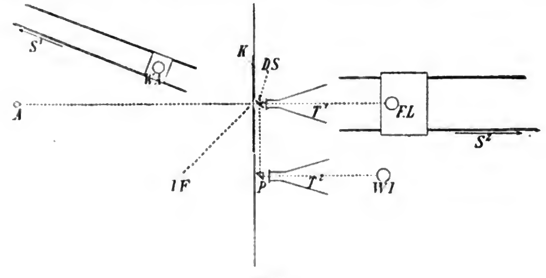


Fig. 1.

und wurde von da aus durch ein total reflektierendes Prisma *P* und einen durchsichtigen Spiegel *DS*, ein mikroskopisches Deckgläschen, auf die Öffnung *IF* geworfen. Das farbige Licht passierte zuerst ebenfalls eine ähnliche Milchglasscheibe, und dann gefärbte Gelatineblättchen, die mit der Milchglasscheibe zusammen an dem schmalen Ende des schwarzen Trichters T^1 angebracht waren. Da die Intensität des farbigen Lichts zur Feststellung des Schwellenwertes in rascher Folge stufenweise veränderlich sein mufste, war die Lichtquelle *FL* auf einem kleinen Wagen angebracht, der auf Schienen (S^2) von 700 cm Länge leicht hin und hergeschoben werden konnte. Die beiden Lichtquellen *WI* und *FL* sollten nun das Feld *IF* jede für sich völlig unabhängig beleuchten, daher wurden sie durch eine geschwärzte Scheidewand getrennt, so dafs kein Licht von dem einen zu dem anderen

Apparat gelangen konnte. Die Wände des Zimmers waren, um Störungen durch reflektiertes Licht auszuschliefsen, ebenfalls geschwärzt.

Mit Hilfe des Schienenweges S^1 konnte die Intensität des äufseren Weifs von 0 (Lampe ausgelöscht) bis 256 stufenweise gesteigert werden. Der willkürlich gewählte Punkt der gröfsten Intensität wurde bei einer Entfernung der Lampe von *IF* von 25 cm erreicht. Die Intensitäten des inneren Weifs und des farbigen Lichts wurden nach der Entfernung der Lichtquellen von den Milchglasscheiben in T^1 und T^2 angegeben. Die Intensität des farbigen Lichts liefs sich von 0 bis 19600 steigern. Wie aus den Tabellen hervorgeht, zogen wir der Einfachheit halber vor, für das innere Weifs keine besondere Intensitätsskala aufzustellen, sondern die Intensitäten in derselben Einheit wie die Werte des äufseren Weifs anzugeben. Die absolute Intensität des äufseren Weifs bei 256 war viel höher als die des farbigen Lichtes bei 19600, hauptsächlich, weil das Licht der Lampe *FL*, ehe es das innere Feld erreichte, durch eine Milchglasscheibe und farbige Gelatineblättchen fiel und dadurch abgeschwächt wurde. Für die vorliegende Untersuchung war dies natürlich gleichgültig, da nur die entsprechenden Werte der beiden Serien untereinander verglichen werden sollten.

Der Beobachter (der Verf.) safs an dem Punkt A der Skizze. Sein Kinn ruhte dabei auf einer Stütze auf und zwar so, dafs seine Blicklinie das 100 cm weit entfernte innere Feld *IF* senkrecht traf. Um die wirksame Lichtmenge einzig und allein von der Intensität des Sehfeldes abhängig zu machen, wurde eine künstliche Pupille von 1,5 mm Durchmesser angewendet.

Die zu den Versuchen angewendeten Farben waren ein sattes Rot, Grün, Gelb und Blau. Für meine Zwecke war es unnötig den absoluten Schwellenwert irgend einer dieser Farben zu bestimmen, sondern es kam vielmehr darauf an, für die jeweilige Sitzung so genau wie möglich festzustellen, wieviel ein gegebener Schwellenwert durch eine gegebene Veränderung des Unterschiedes zwischen den Intensitäten des inneren und des äufseren Feldes, d. h. des Helligkeitskontrastes, erhöht oder erniedrigt würde. Bei Untersuchungen d i e s e r Art werden, wie mir scheint, gewisse Fehlerquellen möglichst vollständig beseitigt, wenn der Beobachter den Unterschied zwischen zwei an der Schwelle stehenden gleichzeitig dargebotenen farbigen Lichter

wahrzunehmen hat, d. h. wenn er anzugeben hat, welche Hälfte des Beobachtungsfeldes (etwa die rechte oder die linke) eine von zwei gleichhellen und möglichst einander unähnlichen Farben einnimmt. Hierzu ist natürlich erforderlich, dafs man schnell und ohne Vorwissen des Beobachters die Stellung der beiden Farben wechseln könne.

Da die Farben gleichzeitig dargeboten wurden, war es ferner unumgänglich notwendig die zusammengehörigen Paare (rot-grün und gelb-blau) auf dieselbe Helligkeit einzustellen. Der Beobachter konnte nämlich sonst die beiden Farben in der Nähe des Schwellenwertes noch an der verschiedenen Helligkeit unterscheiden, selbst wenn die Farbe selbst nicht mehr wahrzunehmen war.

Um diese gleiche Helligkeit zu erzielen, gab ich den beiden Farben eines Paares den gleichen „Peripheriewert" in folgender Weise. In dem äufseren Feld, das mit farblosem Licht gleichförmig erhellt wurde, erschien das innere Feld, dessen Durchmesser zu diesem Zwecke auf 2 mm verkleinert wurde, und das sein Licht durch eines der farbigen Gelatinefenster erhielt. Dieses Feld betrachtete ich im peripherischen Sehen unter Beibehaltung einer guten Helladaptation für die betreffende Netzhautstelle so, dafs es farblos erschien, und stellte nun durch Vor- und Zurückschieben der Lampe *FL* seine Intensität ein bis sie der des Hintergrundes gleich war, das heifst, bis das Feld in dem Hintergrund gänzlich verschwand. Dann setzte ich das andere Gelatinefenster des Farbenpaares an Stelle des ersten und fügte, während die Lampen in derselben Lage stehen blieben, so lange farblose Gelatineblätter hinzu, bis die Intensität so weit gemindert war, dafs auch diese Farbe für denselben peripherischen Teil der Netzhaut in dem Hintergrund verschwand. Dadurch wurde erreicht, dafs die beiden leuchtenden Farbenfelder für die Peripherie des helladaptierten Auges und damit gemäfs den von Kriesschen Ausführungen [1] für die farbenempfindlichen Elemente des Auges überhaupt denselben Reizwert oder Weifsvalenz hatten. Im Laufe der Versuche wiederholte ich diesen Ausgleich der „Peripheriewerte" der beiden Farbenpaare mehrmals mit der gröfsten Sorgfalt.

Nachdem so die zu jedem Farbenpaar gehörigen Gelatineblättchen endgültig ausgewählt worden waren, wurden sie zu-

[1] *Diese Zeitschrift* 15, 247. Auch a. a. O. 199, 201, 202—203.

sammen auf einer dünnen kreisförmigen Milchglasscheibe befestigt. Wenn diese Scheibe nun in ihre Stellung am Ende des Trichters gebracht wurde, so erblickte der Beobachter zwei verschieden gefärbte leuchtende Halbkreise, die durch eine feine senkrechte Grenzlinie voneinander getrennt waren. Ein Assistent konnte ohne Vorwissen des Beobachters die ganze Scheibe rasch umdrehen, so dafs die Farben ihm vertauscht gezeigt wurden, ohne dafs die Pause zwischen den Beobachtungen deshalb verlängert zu werden brauchte. Um schliefslich, auch wenn die Intensität der Farben sich unter dem Schwellenwert befand, dem Beobachter eine das Feld genau halbierende Trennungslinie darzubieten, wurde ein schwarzer Faden in passender Weise zwischen dem Beobachter und dem inneren Feld einige Zentimeter von diesem entfernt aufgehängt. Dieser Faden legte natürlich auch die Stellung des beobachtenden Auges fest, da bei jeder seitlichen Bewegung des Auges das Feld sofort ungleich geteilt erscheinen mufste.

Bei den meisten Versuchsreihen, d. h. den Versuchen, die in einer Sitzung durchgeführt wurden, wurde nun in gleicher Weise und zwar folgendermafsen verfahren: Dem äufseren Weifs wurde eine beliebige Intensität gegeben und die des inneren Weifs so eingestellt, das beide Felder gleich hell erschienen. Dann wurde bei konstanter Intensität des inneren Weifs der Schwellenwert der Versuchsfarben für eine Reihe von Intensitäten des äufseren Weifs festgestellt. Zur Bestimmung jedes Schwellenwertes bewegte der Assistent die Lampe *FL* sprungweise von dem entfernten Ende des Schienenweges heran und ich gab jedesmal, wenn mir ein Sprung angekündigt wurde, ein Urteil ab bis der Punkt erreicht war, an dem ich fünfmal hintereinander richtig angeben konnte, auf welcher Seite des halbierten inneren Feldes sich die rote Farbe des rotgrünen Paares oder die gelbe des gelb-blauen befand. Ich blieb in Unkenntnis über die Richtigkeit meiner Angaben, bis der Schwellenwert erreicht und festgestellt war.

Da die Beobachtungen anstrengend und zeitraubend waren, machte ich meine Bestimmungen, wie die Tabellen zeigen, meistens an dem rot-grünen Paar allein und benutzte das gelbblaue nur zur Ergänzung und Kontrolle, auch wurden die Beobachtungen in einer Sitzung stets nur an einem Farbenpaar gemacht.

Einige Versuchsreihen wurden ausgeführt, bei denen nur eine Farbe angewendet wurde, die dann natürlich das ganze innere Feld einnahm. Durch Drehung der die farbigen Gelatinen tragenden Milchglasscheibe konnte nach Belieben die eine oder die andere Farbe eines Paares dargeboten werden, so daſs die Versuchsperson niemals zuvor wissen konnte, welche Farbe das Feld füllte. Diese Versuche wurden hauptsächlich zu dem Zwecke gemacht, Fehler aufzudecken, die dadurch hätten entstehen können, daſs trotz meiner Vorsichtsmaſsregeln die beiden farbigen Felder verschieden hell gewesen wären; denn die Farben wurden sukzessiv dargeboten bei fortwährender Änderung in der Lichtstärke des die Farben erzeugenden Lichtes.

Die Werte einer jeden der oben beschriebenen Versuchsreihen unter sich lieſsen demnach erkennen, welchen Einfluſs die Änderung der Intensität des äuſseren Weiſs bei gleichbleibender Intensität des inneren Weiſs auf die Schwellenwerte von Farben ausübt. Da nun ferner die absolute Anfangsintensität des inneren Weiſs von einer Versuchsreihe zur anderen wechselte, während das Verfahren im übrigen das gleiche blieb, konnte durch eine Vergleichung der Versuchsreihen untereinander auch der Einfluſs der Änderung der Intensität des inneren Weiſs auf die Schwellenwerte für einen gegebenen Wert des äuſseren Weiſs nachgewiesen werden. Schlieſslich wurden in anderen Versuchsreihen die Intensitäten sowohl des inneren als auch des äuſseren Feldes parallel verändert, so daſs also nur die absolute Intensität beider sich änderte. Die Variabele war im ersten Fall die Intensität des äuſseren Weiſs, im zweiten die des inneren, im dritten die Intensität beider zusammen. Die Versuche der ersten und zweiten Art sollten die Wirkung einer durch Helligkeits**kontrast** hervorgebrachten Steigerung oder Verminderung des Helligkeitswertes des inneren Feldes auf die Schwellenwerte zeigen, die Versuche der dritten Art dagegen den Einfluſs der Veränderung der Intensität ohne die Einwirkung eines Helligkeitsunterschiedes.

An dieser Stelle muſs ich noch in Kürze einiges über die zur Beseitigung von Fehlerquellen getroffenen Vorkehrungen einschalten. Der Assistent hatte mit besonderer Sorgfalt darauf zu achten, daſs der die Lampe tragende Wagen *W* so geräuschlos bewegt und die Stellung der Farben auch unterhalb des Schwellenwertes so oft und in so unregelmäſsigen Abständen gewechselt wurde, daſs mir als Beobachter die Verschiebung der

Lampe und das Wechseln der Stellung der Farben vollständig verborgen blieb, bis ich durch die Farbenempfindung selbst davon Kenntnis erhielt. Der Assistent verzeichnete jedesmal die Stellung der Lampe und der Farben mit meiner Antwort auf seinen Ruf „Fertig“ in dem Versuchsprotokoll.

Zwischen den einzelnen Beobachtungen richtete ich meinen Blick abwärts von dem äuſseren Feld weg, um die Umstimmung des Sehorgans durch weiſses Licht, die nach v. KRIES[1] schon an sich den Schwellenwert erhöht, zu vermeiden. Auf den Ruf „Fertig“ fixierte ich auf einen Augenblick die Mitte der Trennungslinie der beiden Farben, sah dann, wenn ich die Farbe nicht unterscheiden konnte, wieder weg, wiederholte dieses Verfahren vier- oder fünfmal, und antwortete schlieſslich „ich weiſs nicht“ oder „rot links“ oder „rechts“. Indem ich so mein Urteil stets von dem ersten Augenblick des Fixierens abhängig machte, vermied ich, soweit dies bei Versuchen, bei denen überhaupt fixiert werden muſs, möglich ist, die Fehler, die durch die Ermüdung des Sehorgans und die flüchtigen Umstimmungen desselben (sog. sukzessiven Kontrast) infolge von unwillkürlichen Augenbewegungen entstehen. Um die durch allzulange fortgesetzte Beobachtungen entstehende Ermüdung möglichst zu verringern, ruhte ich nach jeder Bestimmung eines Schwellenwertes einige Zeit aus.

Bei der Erkennung einer Farbe, etwa der roten, beschränkte ich mich, wie ich schon andeutete, darauf, zu bestimmen, welche Hälfte des inneren Feldes sie einnahm. Ich wartete nicht etwa bis der empfangene Eindruck einer bewuſst vorgestellten normalen „Rot“ entsprach, sondern ich begnügte mich damit festzustellen, daſs es rot war, ob es nun rot aussah oder nicht. Einige wenige Versuche, die ich machte, so lange zu warten, bis die Farbe wirklich „rot“ aussah, ergaben so viele subjektive Zweifel und so groſse objektive Schwankungen der Schwellenwerte, daſs das Verfahren sich als undurchführbar erwies. Schon die durch die verschieden starken Helligkeitskontraste hervorgerufenen verschiedenen Sättigungsgrade der Farben hätten seine Anwendung unmöglich gemacht. Auch bei den Beobachtungen an dem ungeteilten (einfarbigen) Feld machte ich meine Angaben in derselben Weise.

---

[1] Nagels Handbuch. Bd. III. S. 213, 219.

Die gewonnenen Resultate sind in den Tabellen I—IV verzeichnet. Die erste Kolumne jeder Tabelle enthält die Intensitätswerte des äufseren Weifs oder der Hintergrundsbeleuchtung (*Wa*); in den folgenden Kolumnen sind die Intensitäten des farbigen Lichtes (*Lf*) angegeben, welche notwendig waren um eine Farbe, bei gegebenen äufseren und inneren Weifsintensitäten auf die Schwelle zu bringen. Schliefslich findet man oberhalb jeder Tabelle den Intensitätswert für das innere Weifs (*Wi*), dafs, wie erinnerlich sein wird, für eine ganze Versuchsreihe immer konstant blieb, und dessen Wert einem der Werte des äufseren Weifs gleichgesetzt und mit derselben Zahl ausgedrückt wurde. Um dies noch anschaulicher zu machen, habe ich diejenige horizontale Reihe der Farbenintensitäten, welche die Schwellenwerte bei gleicher Intensität des äufseren und des inneren Weifs angeben, durch Sterne bezeichnet. Wo ich die Ergebnisse mehrerer Reihen zu einem Gesamtmittel vereinigt habe, bedeuten die in gewöhnlichem Druck angegebenen Zahlen diese Gesamtergebnisse, während jedesmal die Resultate der einzelnen Versuchsreihen in Kursivschrift darunter angegeben sind. Überall bedeuten die in Klammern gesetzten Zahlen die Anzahl der einzelnen Beobachtungen.

Tabelle I.

Rot-Grün Paar. Geteiltes Feld. Kontrastwirkung.

Wi = 4,0.

Wa	*Lf*	
0,0	—	—
1,0	—	—
1,8	—	—
4,0*	1,6 (7)* *1,6 (6)* *1,4 (1)*	1,3 (7)* *1,3 (4)* *1,2 (3)*
16,0	2,1 (8) *2,4 (6)* *1,5 (2)*	2,0 (10) *2,0 (6)* *2,0 (4)*
64,0	10,7 (10) *12,9 (6)* *7,2 (4)*	—
256,0	26,1 (6)	22,7 (9)

Tabelle II.

Rot-Grün Paar. Geteiltes Feld. Kontrastwirkung.
$Wi = 16,0$.

0.0	—	—	—	—	4,9(9) *4,9 (5)* *4,9 (4)*
1,0	3,9(2)	—	5,7(3)	4,9(9) *5,8 (5)* *3,8 (5)*	3,8(5)
1,8	6,4(7) *6,6 (5)* *5,8 (2)*	—	—	—	—
4,0	4,8(5)	—	8,4(3)	2,9(9) *2,8 (5)* *3,0 (4)*	3,4(5)
16,0*	5,3(2)*	4,4(6)*	2,6(7)*	3,1(5)*	3,7(5)*
64,0	5,5(3)	8,3(7)	3,0(6)	6,1(5)	—
256,0	21,7(3)	—	12,7(7)	22,3(5)	—

Tabelle III.

Blau-Gelb Paar. Geteiltes Feld. Kontrastwirkung.
$Wi = 16,0$.

0,0	—	—	—	—
1,0	—	8,7(4)	—	7,6(4)
4,0	—	9,7(4)	—	8,4(4)
16,0*	6,4(3)*	8,9(7)* *11,7 (4)* *5,2 (3)*	12,1(5)* *11,6 (3)* *12,9 (2)*	8,0(6)* *6,5 (3)* *9,4 (3)*
64,0	10,9(4)	—	25,3(4)	—
256,0	28,9(7) *25,8 (4)* *33,0 (3)*	—	52,1(4)	—
Fenster auf	35,1(4)	—	60,5(4)	—

Tabelle IV.

Rot-Grün Paar. Ungeteiltes Feld. Kontrastwirkung.
$Wi = 16,0$.

0,0	2,0(3)	2,4(5)	2,2(4)
1,0	2,7(6)	2,2(5)	2,5(4)
4,0	1,8(5)	2,5(5)	2,1(4)
16,0*	2,2(7)*	1,9(5)*	2,0(9)* *2,5 (2)* *1,8 (7)*
64,0	8,4(4)	6,6(5)	7,2(4)
256,0	14,5(8) *15,9 (5)* *12,2 (3)*	15,7(8) *16,8 (5)* *13,9 (3)*	15,3(7) *13,5 (4)* *17,8 (3)*
Fenster auf	19,6(3)	25,8(4)	19,9(4) 23*

Die Tabellen I—IV enthalten die Ergebnisse der Versuche über den Einflufs einer Intensitätsänderung des äufseren Weifs bei konstanter Intensität des inneren Weifs. Aus diesen Tabellen lassen sich folgende Tatsachen ableiten. In jeder Kolumne sind die Schwellenwerte, die unterhalb der bei gleicher Intensität des inneren und äufseren Weifs erhaltenen Werte aufgeführt sind, ausnahmslos höher als diese (mit einem Stern bezeichneten Zahlen) selbst. Daraus geht hervor, dafs jede Steigerung der Intensität des kontrasterregenden Feldes (äufseres Weifs) über die des kontrastleidenden Feldes (inneres Weifs) auch eine Erhöhung des Schwellenwertes zur Folge hat. Die über den gesternten Werten stehenden Zahlen sind dagegen teils höher, teils niedriger als die gesternten Werte, auch sind die Differenzen zwischen diesen Zahlen bei weitem nicht so grofs als bei den unter dem Stern aufgeführten. Eine Verminderung der Intensität des äufseren Weifs unter die des inneren Weifs scheint demnach auf die Schwellenwerte keinen dem Grade oder der Richtung nach bestimmt ausdrückbaren Einflufs auszuüben. Ich habe in der Tat wiederholt gefunden, dafs eine geringe gerade bemerkbare Steigerung der Helligkeit des äufseren Weifs über die des inneren Feldes, eine Farbe, die auf dem Schwellenwert sich befand (wenn die Intensitäten gleich waren), zum Verschwinden brachte, während ich mich nicht überzeugen konnte, dafs eine beträchtliche Erniedrigung der äufseren Intensität, selbst bis auf 0 hinunter, den Schwellenwert irgendwie beeinflufste. Subjektiv sichere Beobachtung war in diesem Fall besonders schwierig, da die gröfsere Helligkeit des inneren Feldes im Vergleich zum äufseren die Farbe sehr ungesättigt erscheinen liefs, so dafs meiner Ansicht nach die geringen und sich widersprechenden Abweichungen in den erhaltenen Werten innerhalb der unvermeidlichen Fehlergrenzen liegen, die ja bei allen Schwellenwertsermittelungen sehr weit gezogen werden müssen. Ich kann daher nicht behaupten, dafs für mich und unter den von mir beobachteten Versuchsbedingungen, wenn das kontrasterregende Feld dunkler ist als das kontrastleidende, irgend eine konstante Änderung des Schwellenwertes sich feststellen läfst.

Eine Vergleichung der Tabellen I und II miteinander zeigt uns den Einflufs der Änderung der Intensität des inneren Feldes

auf die Schwellenwerte. Die Tabellen III und IV können zu dieser Vergleichung nicht mit herangezogen werden, da die in ihnen aufgeführten Ergebnisse unter ganz verschiedenen Bedingungen erhalten worden sind. Man sollte erwarten, daſs unter sonst gleichen Bedingungen eine Erhöhung der Helligkeit eines farbigen Feldes durch Hinzufügen von weiſsem Licht, wie in vorliegendem Fall, eine entsprechende Erhöhung des Schwellenwertes der Farbe verursachen würde, denn eine solche Erhöhung bedeutet für eine gegebene Menge farbigen Lichts eine Abnahme des Sättigungsgrades der Farbe. Aber die „anderen Bedingungen" bleiben sich nicht gleich, denn jede Änderung der Helligkeit des farbigen Feldes ändert zugleich auch das Intensitätsverhältnis d. h. den Kontrast zwischen dem farbigen Feld und dem Hintergrund. Werden aber die Intensitäten von Feld und Hintergrund gleichmäſsig geändert (der Fall der in den Tabellen V und VI behandelt wird), so wird wenigstens auch das Niveau der Helligkeit, auf dem beide stehen, mit geändert.

Der Einfluſs des Hintergrundes auf die Schwellenwerte scheint nun aber nach unserer Erfahrung viel geringer zu sein, wenn der Hintergrund dunkler als wenn er heller ist als das farbige Feld. Wenn wir also zwei Versuchsreihen finden können, in denen die Intensität des äuſseren Feldes konstant bleibt, während in der einen Reihe die Helligkeit des inneren Feldes gesteigert wird, so daſs sie gröſser ist als die des äuſseren Feldes in beiden Reihen, so werden wir durch eine Vergleichung der Werte erkennen können, wie eine Steigerung der Intensität des inneren Feldes allein, wenn der störende Einfluſs des äuſseren Feldes nach Möglichkeit beschränkt ist, auf die Schwellenwerte wirkt. Zwei Reihen dieser Art sind die horizontale Reihe in Tabelle II, die unmittelbar über der mit Sternen bezeichneten steht, und die gesternte Reihe in Tabelle I. In beiden ist die Intensität des äuſseren Weiſs 4, während die des inneren Weiſs von 4 in Tabelle I auf 16 in Tabelle II ansteigt. Der Schwellenwert beträgt, wenn beide Felder die Intensität 4 haben 1,45, wenn dagegen das äuſsere Feld 4 und das innere Feld 16 hat, 4,87, — eine erhebliche Steigerung. In beiden Fällen habe ich die Mittelwerte angenommen. Die übrigen Zahlenreihen der Tabellen I und II können deshalb nicht in dieser Weise miteinander verglichen werden, weil in ihnen die Intensität des äuſseren Weiſs gröſser ist als die des inneren Feldes, und daher zwei Einflüsse

vorhanden sind, die den Schwellenwert in die Höhe treiben, der Helligkeitsunterschied und die Erhöhung der Intensität des inneren Feldes selbst. Der Anteil jedes dieser beiden Einflüsse an der Erhöhung des Schwellenwertes läfst sich natürlich nicht gesondert bestimmen.

Ich möchte auch nicht etwa zu grofses Gewicht auf die anführten Werte legen, da die Beobachtungen wenig zahlreich und die Ergebnisse etwas schwankend sind. In Verbindung mit den Ergebnissen der anderen noch zu betrachtenden Tabellen, wobei irgend eine Kontrastwirkung überhaupt fehlte, zeigen aber diese Zahlen meiner Ansicht nach doch, dafs eine Steigerung der Helligkeit eines farbigen Feldes durch weifses Licht den Schwellenwert der Farbe merklich erhöht.

Von besonderer Bedeutung sind diese Ermittelungen über den Einflufs der Weifs-Intensität des inneren Feldes auf die Schwellenwerte als Warnung für Experimentatoren, die geneigt sind zu vergessen, dafs jede Intensitätsänderung an einem farbigen Feld auch eine Änderung seines Helligkeitsverhältnisses zu dem Hintergrund mit sich bringt und dadurch allen experimentellen Fehlern, die durch schwankende Helligkeitskontraste entstehen können, Tür und Tor öffnet. Wie ich schon im Eingang erwähnte sind in vielen Arbeiten über peripherisches Farbensehen zum Beispiel die Helligkeitskontraste zwischen Farbe und Hintergrund als Nebensache behandelt worden, während doch gerade für die Wahrnehmung mit der Peripherie der Netzhaut bei der die „hell" und „dunkel" Adaptierung des Auges die Bedingungen des Versuches kompliziert, eine Vernachlässigung gerade dieser Verhältnisse verhängnisvoll werden kann. In den meisten Fällen ist, wie ich schon ausführte, die Wahrscheinlichkeit eines Irrtumes dann am geringsten, wenn der Hintergrund weniger hell ist als das farbige Feld.

In den Tabellen V und VI sind die Ergebnisse einer parallelen Änderung der Helligkeit des inneren und des äufseren Weifs enthalten. Die in den senkrechten Kolumnen aufgeführten Werte zeigen deutlich, dafs eine Zunahme der Intensität des inneren Weifs, wenn dem äufseren Weifs gleichzeitig derselbe Intensitätswert gegeben wird, stets eine recht erhebliche Erhöhung der Schwellenwerte der Farben zur Folge

hat. Ebenso bewirkt eine Abnahme beider Intensitäten ein Sinken der Schwellenwerte.

Tabelle V.

Rot-Grün Paar. Geteiltes Feld. Parallele Änderung.

Wa und *Wi*	Farbiges Licht (*Lf*)		
0,0	—	—	—
1,0	21,2(5)	21,7(5)	27,3(5)
4,0	42,0(5)	39,8(5)	31,8(5)
16,0	40,5(5)	45,3(5)	65,8(8) *74,8 (5)* *54,0 (3)*
256,0	253,2(5)	306,2(5)	253,2(5)

Tabelle VI.

Rot-Grün Paar. Ungeteiltes Feld. Parallele Änderung.

0,0	—	—	—
1,0	4,5(4)	5,4(5)	5,1(4)
4,0	12,3(4)	16,0(10) *19,9 (4)* *13,9 (6)*	14,5(5)
16,0	36,5(5)	28,2(4)	34,6(5)

Im Vergleich zu den Ergebnissen der Tabellen I—IV also, die den Einfluſs einer Änderung der Helligkeit des inneren Feldes durch einen Helligkeits**kontrast** zeigen, ergeben die Tabellen V und VI gerade das entgegengesetzte. Obgleich nämlich die Verdunkelung des inneren Feldes, sei sie nun durch Steigerung der Helligkeit des äuſseren Feldes oder durch gleichmäſsige Verdunkelung beider Felder hervorgebracht, für das Auge genau denselben Eindruck macht, steigen in dem ersten Fall die Schwellenwerte, während sie in dem zweiten fallen. Das Wesentliche ist also nicht die subjektive Verdunkelung des inneren Feldes, die in beiden Fällen eine Erhöhung des Sättigungsgrades der Farben mit sich bringt, sondern die objektive Zunahme der Intensität des weiſsen Lichtes. Eine Zunahme der Intensität des weiſsen Lichtes, sei es im inneren Feld, sei es im äuſseren oder in beiden zugleich, verursacht jedesmal ein Steigen der Schwellenwerte.

Die qualitative Feststellung dieser Tatsache ist das Hauptergebnis meiner Versuche.

Was nun die quantitative Bestimmung dieser Wirkung des weifsen Lichtes betrifft, so zeigen allerdings die Tabellen I—IV, dafs eine fortgesetzte Steigerung der Intensität des farblosen Hintergrundes eines farbigen Feldes, das selbst konstant gehalten wird, auch ein fortlaufendes Steigen des Schwellenwertes der Farben zur Folge hat und auch dafs Steigerung der Intensität des farbigen Feldes selbst durch weifses Licht die Schwellenwerte entsprechend erhöht, gleichgültig ob dabei der Hintergrund konstant bleibt oder gleichzeitig heller wird. Nichtsdestoweniger habe ich weder in dem einen noch in dem anderen Fall eine einfache durch Zahlen ausdrückbare Beziehung zwischen den Erhöhungen der Schwellenwerte und den entsprechenden Steigerungen der Lichtintensität herausfinden können.

Die theoretische Deutung meiner Versuchsergebnisse bleibt, wie sich von selbst versteht, mit der Schwierigkeit behaftet, dafs die wechselnden Erleuchtungen, sei es des inneren, sei es des äufseren Feldes auch zu Umstimmungen Veranlassung geben, somit die beobachteten Änderungen der Schwellenwerte ganz oder teilweise auf diesen beruhen können. Es ist dies wie man sieht eine Schwierigkeit, die bei quantitativen Ermittlungen wegen der für die Bestimmung einer Schwelle unter allen Umständen erforderlichen Zeit nicht beseitigt werden kann. Dagegen erschien es von Interesse, wenigstens qualitativ das Bestehen der gefundenen Abhängigkeiten auch unter Bedingungen zu prüfen, bei denen durch eine möglichst plötzliche Variierung der betr. Lichtverhältnisse die Bedeutung jenes Momentes so sehr als eben möglich eingeschränkt wurde. Diesem Zwecke dienten eine Anzahl hier noch anzuführender Kontrollversuche. Um möglichst schnelle Änderungen des äufseren Weifs zu erhalten, stellte ich beide Felder auf dieselbe Helligkeit ein, indem ich den Gasschlauch der Lampe, die das äufsere Feld beleuchtete, mit einem Quetschhahn zusammendrückte. Dann fixierte ich gleich von Anfang an das innere Feld und veränderte augenblicklich durch Öffnen oder Schliefsen des Quetschhahnes die Intensität des äufseren Feldes. Jede Zunahme der Intensität der Beleuchtung, selbst eine nur eben wahrnehmbare, erhöhte auch den Schwellenwert. Gewöhnlich verfuhr ich hierbei so, dafs ich die Farbe bei gleicher Helligkeit beider Felder nahezu auf den Schwellenwert

brachte und dann feststellte, daſs eine Erhöhung der Intensität des äuſseren Feldes sie zum Verschwinden brachte. Wenn sich die Farbe zu Anfang über dem Schwellenwert befand, bewirkte jede Erhöhung der Intensität des Hintergrundes, daſs sie sich mehr und mehr dem Schwellenwerte näherte, bis sie schlieſslich bei einem gewissen Wert der äuſseren Intensität ganz verschwand. Diese Tatsache bestätigt das in den Tabellen enthaltene Ergebnis, daſs nämlich die Höhe der Schwellenwerte zu der Intensität des äuſseren Feldes in gewisser quantitativer Beziehung steht, wenn sich auch kein bestimmt formulierbares Gesetz ableiten läſst. Eine Erniedrigung der äuſseren Intensität unter die des inneren Feldes hat, wie ich bereits erwähnte, keinen sicher feststellbaren Einfluſs auf die Schwellenwerte weder in der einen noch in der anderen Richtung.

Um ferner auch den Einfluſs paralleler Änderung der Helligkeit beider Felder auf die Schwellenwerte in analoger Weise (tunlichst ohne Umstimmung des Sehorgans durch weiſses Licht) zu zeigen, wurde die Versuchseinrichtung folgendermaſsen abgeändert. Der Karton, der als äuſseres Feld gedient hatte, wurde durch eine Fläche aus schwarzem Sammt ersetzt, die in gleicher Weise wie der Karton in der Mitte mit einem Loch als inneres Feld versehen war. Vor diesem Loch wurde an der Stelle, die sonst das Auge des Beobachters eingenommen hatte, ein durchsichtiger Spiegel so aufgestellt, daſs er mit der schwarzen Sammetfläche einen Winkel von 45° bildete. Dadurch wurden die aus dem Loch austretenden Strahlen des farbigen Lichtes parallel zu der Sammtfläche reflektiert. Wenn ich nun durch den durchsichtigen Spiegel auf einen Schirm aus weiſser Pappe blickte, erschien das farbige Licht auf den weiſsen Schirm projiziert als ein inneres farbiges Feld. Der Schirm konnte mit Hilfe einer passend aufgestellten Lampe mit weiſsem Licht beleuchtet werden, so daſs ich also, wenn ich den Gaszufluſs mit einem Quetschhahn regulierte, die Intensität des inneren und des äuſseren Feldes in jedem Augenblick gleichzeitig ändern konnte.

Die Ergebnisse meiner Beobachtungen mit dieser Einrichtung bestätigten vollkommen die in den Tabellen V und VI enthaltenen. Wie in dem oben beschriebenen Versuch fixierte ich gleich von Anfang an die Mitte des inneren Feldes und fand, daſs eine Steigerung der Intensität beider Felder eine Farbe die dem Schwellenwert nahe war, sofort zum Verschwinden brachte, oder,

falls sie vorher über dem Schwellenwert sich befand, schwächer erscheinen liefs. Andererseits konnte eine unter dem Schwellenwert liegende Farbe durch Abschwächung der Intensität beider Felder über den Schwellenwert hinaus gehoben werden. Ferner konnten, wie in dem oben beschriebenen Konstrastversuch auch grobe quantitative Beziehungen zwischen der Höhe der Schwellenwerte und der Intensität beider Felder festgestellt werden.

Herr Geheimrat v. Kries hatte die Güte an diesen beiden letzten Versuchen teilzunehmen und hat meine Beobachtungen bestätigen können.

Die Ergebnisse aller dieser Versuchsreihen können wir im folgenden zusammenfassen. Wenn die Helligkeit eines farbigen Feldes durch die Kontrastwirkung eines intensiver beleuchteten Hintergrundes herabgesetzt wird, steigt der Schwellenwert; und zwar geht die Erhöhung im grofsen und ganzen der Steigerung der Intensität des äufseren Feldes über die des inneren hinaus parallel. Ein Sinken der Helligkeit des Hinter grundes unter die des farbigen Feldes schien unter den Versuchsbedingungen keine der Richtung nach bestimmte oder andauernde Wirkung auf die Schwellenwerte auszuüben. Wird dagegen die Intensität des inneren Feldes allein oder die beider Felder gleichzeitig geändert, so sinkt der Schwellenwert mit sinkender und steigt mit steigender Intensität. Wird also die Helligkeit des farbigen Feldes durch Kontrastwirkung herabgesetzt, so steigt der Schwellenwert, wird aber die eigene Intensität des farbigen Feldes vermindert, so sinkt er. Oder mit anderen Worten: wenn die Helligkeit eines farbigen Feldes oder seines Hintergrundes durch Hinzufügen von weifsem Licht erhöht wird, steigt der objektive Schwellenwert in beiden Fällen, obgleich im ersten Fall subjektiv die Helligkeit des farbigen Feldes **erhöht** und der Sättigungsgrad der Farbe **vermindert** wird, während im zweiten umgekehrt die Helligkeit **vermindert** und der Sättigungsgrad **erhöht** wird. In keinem Falle aber liefs sich aus den Ergebnissen der beschriebenen Versuche ein

zahlenmäſsig ausdrückbares Gesetz der Abhängigkeit der Schwellenwerte von den Intensitäten ableiten.

Dieses Ergebnis ist ein weiterer Beleg dafür, daſs die Beziehungen zwischen den Wirkungen des farbigen und des farblosen Lichts auf das Sehorgan in hohem Grade verwickelt sind, bei weitem verwickelter als die herrschenden Theorien über das Farbensehen vermuten lassen. Auch die Wirkung der sogen. „Umstimmung“ des Sehorgans durch farbloses Licht auf das Farbensehen steht zu den in den beschriebenen Versuchen gefundenen Tatsachen in enger Beziehung, und muſs bei einer Würdigung ihrer theoretischen Wichtigkeit mit in Betracht gezogen werden. Wenn nämlich ein Abschnitt der Netzhaut erst weiſsem und dann farbigem Licht ausgesetzt wird, das sich eben über dem Schwellenwert befindet, so wird die Farbe dem Schwellenwert näher gebracht oder sogar unter ihn herabgedrückt. Diese Tatsache, die den Ergebnissen meiner Versuche ganz analog ist, erlaubt uns in der Aufstellung verallgemeinernder Sätze über die Wirkung der Erregung des Sehorgans durch weiſses Licht auf das Farbensehen noch einen Schritt weiter zu gehen. Der Schwellenwert einer Farbe wird demnach für einen bestimmten Teil der Netzhaut erhöht, d. h. die Farbenempfindlichkeit wird herabgesetzt, wenn

1. dieser Teil kurz vorher durch weiſses Licht umgestimmt worden ist,

2. wenn der Teil gleichzeitig durch farbiges und weiſses Licht erregt wird,

3. wenn die unmittelbare Umgebung dieses Teils der Netzhaut gleichzeitig durch weiſses Licht erregt wird, so daſs durch den Helligkeitskontrast das farbige Feld verdunkelt wird. Es läſst sich also wohl zusammenfassend behaupten, daſs wenn ein Teil der Netzhaut in den Wirkungskreis einer hellen weiſsen Lichtquelle kommt seine Farbenempfindlichkeit dadurch beeinträchtigt wird.

Für eine theoretische Deutung der mitgeteilten Tatsachen fehlen uns meines Erachtens zu sehr die Unterlagen, als daſs es sich empfehlen könnte, darauf einzugehen. Nur darauf möchte ich hinweisen, daſs die gerade für die Auffassung der Kontrasterscheinungen besonders bevorzugte Theorie Herings hier auf

erhebliche Schwierigkeiten stöfst. Ihr zufolge sollte der Zustand der schwarz-weifsen Sehsubstanz an einer Netzhautstelle sich jedenfalls in demselben Sinne ändern, wenn die Weifsbelichtung dieser Stelle selbst vermindert, oder die der Umgebung vermehrt wird. Ferner sollen die Bedingungen für die Wahrnehmung der Farben am günstigsten sein, wenn der Zustand der schwarz-weifsen Sehsubstanz ein Gleichgewicht von Assimilation und Dissimilation, ein neutrales Grau darstellt. Hiernach müfste man erwarten, dafs es wenigstens irgend welche Fälle geben werde, in denen wir nicht blofs durch Verminderung des inneren, sondern auch durch Steigerung des äufseren Weifs, nicht blofs durch objektive, sondern auch durch Kontrastverdunkelung die Bedingungen für das Farbenerkennen günstiger machen, die Farbenschwellen herabsetzen können. Ich habe aber etwas derartiges nie beobachtet; immer ist vielmehr der Erfolg der objektiven Weifsverminderung in loco und der Kontrastverdunkelung der entgegengesetzte.

Es ist, wie ich glaube, nicht an der Zeit, eine Erklärung meiner Beobachtungen durch neue Annahmen über die Wechselwirkung benachbarter Netzhautteile zu versuchen. Doch kann man wohl sagen, dafs der allgemeine Eindruck, den die Tatsachen machen, dahin geht, uns die Substrate der Farbenempfindungen nicht in dem Mafse, wie es z. B. die Heringsche Theorie annimmt, von denjenigen der farblosen Empfindungen und demgemäfs auch von dem durch farbloses Licht hervorzurufenden Kontrastwirkungen unabhängig erscheinen zu lassen. In der Tat gewinnt man eigentlich unmittelbar den Eindruck, dafs die durch (farblose) Belichtung der Umgebung erzeugte Kontrastverdunkelung eben nicht blofs eine Verschiebung der die farblose Helligkeit bestimmenden Vorgänge, sondern zugleich auch eine Verminderung der der Farbenempfindung dienenden darstelle, dafs sie ähnlich wirke wie eine Verminderung des g a n z e n Lichtes, von dem das kontrastleidende Feld getroffen wird, nicht aber wie eine Verminderung nur des in ihm enthaltenen Weifs. Dieses Ergebnis ist demjenigen ganz analog, zu dem v. Kries bei seinen Versuchen über die Weifsermüdung gelangt ist. Auf diese ganz allgemeine Bezeichnung der Richtung, in der die Tatsachen unsere Erwägungen zu lenken geeignet sind, glaube ich mich an dieser Stelle beschränken zu sollen.

Anhang.

Nachdem ich meine Versuche, die ich erst jetzt Gelegenheit finde zu publizieren, ganz abgeschlossen hatte, ist eine Arbeit von Révész [1] veröffentlicht worden, die ganz unabhängig und in sehr erfreulicher Weise mein Hauptresultat (dafs bei zunehmendem Helligkeitskontrast die Farbenschwelle steigen) bestätigt. Ihm ist es auch gelungen ein einfaches quantitatives Gesetz aufstellen zu können, dafs nämlich „der Wert der Farbenschwelle eine lineare Funktion der gegebenen Lichtstärke des kontrasterregenden Feldes ist".

Auf eine detailliertere Vergleichung der Révészschen Beobachtungen mit den meinigen hinsichtlich der Versuchsanordnung und Ergebnisse (insbesondere jenes numerischen Gesetzes) möchte ich hier nicht eingehen. Die Hauptsache ist jedenfalls, dafs wir eine Steigerung der Farbenschwelle bei zunehmender Weifsintensität des kontrasterregenden Feldes als ohne allen Zweifel festgestellt ansehen dürfen.

[1] Über die Abhängigkeit der Farbenschwellen von der achromatischen Erregung. *Zeitschr. f. Sinnesphysiol.* **41** (1). 1906.

(Eingegangen am 1. September 1906.)

(Aus der physikalischen Abteilung des physiologischen Instituts der Universität Berlin.)

Über den Einflufs des Sättigungsgrades auf die Schwellenwerte der Farben.

Von

Dr. F. P. Boswell, Rochester N. Y., U.S.A.

Die Versuche, die im folgenden beschrieben werden sollen, wurden in der Absicht ausgeführt, zu ermitteln, ob die spezifischen Schwellenwerte gesättigter Farben durch Hinzufügen einer geringen Menge weifsen Lichtes erhöht oder herabgedrückt werden.

Als Apparat diente bei diesen Versuchen eine mit einer Irisblende versehene, im übrigen lichtdichte, Glühlichtlaterne. Der Trieb der Irisblende trug eine Skala, die den Durchmesser der Blendenöffnung in Millimetern angab. Mit Hilfe dieser Vorrichtung wurde farbiges Licht auf die Vorderseite der Milchglasscheibe eines Nagelschen Adaptometers geworfen, von wo es in das Auge des in 1 Meter Entfernung sitzenden Beobachters reflektiert wurde. Durch passendes Einstellen der inneren Lichtquelle des Adaptometers, deren Licht von hinten durch die Milchglasscheibe fiel, konnte jede gewünschte Menge weifsen Lichts dem farbigen beigemischt werden. Das Feld des Adaptometers wurde mit dem dunkeladaptierten Auge (3 bis 4 Stunden in völliger Dunkelheit) betrachtet und die Intensität des farbigen Lichtes durch allmähliches Öffnen der Blende gesteigert, bis die Farbe erkennbar wurde. Die Beobachtungen wurden zuerst mit farbigem Licht allein, dann unter Hinzufügen von weifsem Licht vorgenommen und jedesmal der Schwellenwert der Farbe bestimmt. Die Werte sowohl für das farbige, wie für das weifse Licht sind in einer willkürlichen Einheit ausgedrückt, haben also nur relative Bedeutung. Die Versuche ergaben folgende Resultate:

Tabelle.

Versuchsperson Boswell.

	Grün	Grün + Weiſs	Rot	Rot + Weiſs	Violett	Violett + Weiſs
Zahl der Beobachtungen	50	50	50	50	50	50
mittlere Abweichung	17 %	17 %	8 %	12 %	12 %	15 %
Schwellenwert des farbigen Lichts	104 150	72 905	30 500	28 350	30 200	19 932
Verhältnis der Schwellenwerte		niedriger um 30 %		niedriger um 19 %		niedriger um 34 %
Intensität des weiſsen Lichts		5000		10 000		5000

Versuchsperson Vaughan.

	Grün	Grün + Weiſs	Rot	Rot + Weiſs	Violett	Violett + Weiſs
Zahl der Beobachtungen	50	50	50	50	50	50
mittlere Abweichung	30 %	40 %	13 %	15 %	20 %	26 %
Schwellenwert des farbigen Lichts	132 500	72 875	30 500	22 570	32 000	26 240
Verhältnis der Schwellenwerte		niedriger um 45 %		niedriger um 26 %		niedriger um 18 %
Intensität des weiſsen Lichts		10 000		10 000		10 000

Da es Schwierigkeiten macht, das sogenannte „Stäbchenblau“ und das Blau, das bei sehr niedriger Intensität mit den Zapfen wahrgenommen wird, auseinanderzuhalten, fand ich es zweckmäſsig anstatt blau violett anzuwenden. Diese Farbe war zwar nicht so spektralrein wie unser grün und rot, da sie sich von 494 $\mu\mu$ bis zum ultraviolett und von ultrarot bis 571 $\mu\mu$ erstreckte, also nur das zwischen diesen Grenzen liegende grün völlig ausliefs, erschien aber trotzdem subjektiv als ein stark blaues violett. Das Rot erstreckte sich von ultrarot bis 595 $\mu\mu$, das Grün von 582 $\mu\mu$ bis 466 $\mu\mu$. In den Tabellen ist die Intensität sowohl des farbigen als des farblosen Lichts in den willkürlichen Einheiten der Skala des Adaptometers angegeben. Die Intensität des beigemischten weiſsen Lichtes lag stets beträchtlich unter dem fovealen Schwellenwert des weiſsen Lichtes.

Die Ergebnisse dieser Versuche scheinen zu zeigen, dafs der Schwellenwert einer Farbe durch Hinzufügen einer geringen Menge weifsen Lichts zu dem erregenden farbigen Licht herabgedrückt wird. Diese scheinbar paradoxe Erscheinung kann vielleicht durch die Tatsache begreiflich gemacht werden, dafs das weifse Licht den allgemeinen Erregungszustand des Sehorgans erhöht, also gewissermafsen „bahnend" für den Reiz des farbigen Lichtes wirkt.

Ich möchte nicht verfehlen, an dieser Stelle Herrn Professor W. A. Nagel und Herrn Dr. Roswell P. Angier, der mir die Anregung zur Bearbeitung dieses Themas gegeben hat, für ihre freundliche Unterstützung meinen verbindlichsten Dank auszusprechen. Auch Herrn Dr. Vaughan, der mir bei den Untersuchungen als Beobachter diente, sage ich meinen herzlichsten Dank.

(Eingegangen am 1. Oktober 1906.)

(Aus der physikalischen Abteilung des physiologischen Instituts zu Berlin.)

Ein Fall von ungewöhnlicher Verschiedenheit der Mischungsgleichungen für beide Augen eines Beobachters.

Von

Prof. A. Samojloff.

Vergleicht man die Farbenmischungsgleichungen verschiedener farbentüchtiger Personen untereinander, so findet man ausgesprochene individuelle Schwankungen. Es sind hiermit selbstredend nicht die Schwankungen der Einstellungen gemeint, die in die Grenzen der Beobachtungsfehler im weitesten Sinne des Wortes fallen, sondern diejenigen persönlichen Abweichungen, die durch ihre Konstanz irgend einen charakteristischen Zug des betreffenden lichtperzipierenden Organes ausmachen.

Bekanntlich haben v. Frey und v. Kries einen Teil der individuellen Schwankungen der Farbenmischungseinstellungen auf die verschiedene Lichtabsorption seitens des gelben Pigmentes des gelben Fleckes bei verschiedenen Individuen zurückführen können.[1] Auf andere Weise wurde die Lichtabsorption des gelben Fleckes von Hering[2] und von Sachs[3] eingehend untersucht.

---

[1] v. Kries: Gesichtssinn im Nagelschen Handbuch der Physiologie, Bd. III, 1905, S. 124. S. auch v. Frey und v. Kries, du Bois-Reymonds *Arch.* 1881, S. 336.

[2] Hering: Über individuelle Verschiedenheiten des Farbensinnes. *Lotos*, Neue Folge, 6, 1885.

[3] Sachs: Über die spezifische Lichtabsorption des gelben Fleckes der Netzhaut. *Pflügers Archiv* 50, S. 577. 1891.

Abgesehen von diesen auf klar zutage tretender physikalischer Ursache beruhenden individuellen Schwankungen unterscheidet man seit Lord RAYLEIGH, DONDERS und KÖNIG andere seltenere Fälle von ziemlich bedeutenden Abweichungen, die man mit KÖNIGS Ausdruck als Gruppe der anomalen Trichromaten zusammenfaſst. Die Abweichungen der Anomalen beruhen auf Änderungen der physiologischen Erregbarkeit.[1]

Es fragt sich nun, wie steht es denn mit den Farbeneinstellungen für beide Augen eines und desselben Beobachters? Merkwürdigerweise ist diese Frage sehr wenig behandelt worden. Abgesehen von ganz vereinzelten, nicht hinreichend genau beschriebenen Fällen von einseitiger Farbenblindheit, und der sorgfältigen, unten näher zu erwähnenden Beobachtung SULZERS aus DONDERS' Laboratorium[2], fehlen die Angaben über irgend welche Unterschiede in den Farbenwahrnehmungen vermittels beider Augen eines Trichromaten fast vollständig. Mir ist nur noch ein einziger Fall dieser Art von HILBERT bekannt.[3] HILBERT sah beim Mikroskopieren das Gesichtsfeld (auch beim Beobachten des bewölkten Himmels durch das Loch eines Kartenblattes) mit dem rechten Auge bläulich, mit dem linken rötlich. Eine nähere Untersuchung des Farbensinnes beider Augen wurde nicht unternommen.

Ich selbst wurde auf diese Frage durch Beobachtungen einer geringen Störung an meinen Augen geleitet. Ich finde, daſs meine Farbenempfindungen, je nachdem ich mit dem rechten oder linken Auge sehe, meistens verschieden sind (ich leide an beiderseitiger Myopie 5,0 Dioptrien bei normalem Visus). Am häufigsten beobachte ich den Unterschied beim Betrachten der Gesichtsfarbe irgend einer Person. Die Farbe erscheint dem einen Auge rötlicher, dem anderen gelblicher. Auch bei anderen Gelegenheiten, nämlich beim Betrachten orangegefärbter Gegenstände, häufig auch beim Anblick einer weiſsen Papierfläche bei abendlicher Lampenbeleuchtung tritt der Unterschied in der Farben-

[1] v. KRIES: Gesichtssinn im NAGELschen Handbuch der Physiologie. Bd. III, 1905, S. 126.

[2] DONDERS: Farbengleichungen. *Arch. f. Anat. u. Physiol.* Physiol. Abteilung. 1884.

[3] R. HILBERT: Die individuellen Verschiedenheiten des Farbensinnes zwischen den Augen eines Beobachters. *Pflügers Archiv* 57, S. 61. 1894.

nuance deutlich hervor. Übrigens ist der Grad der Verschiedenheit sehr unbedeutend, die geschilderte Erscheinung kann überhaupt nur bei speziell darauf gerichteter Aufmerksamkeit beobachtet werden. Nur bei einer Gelegenheit tritt die Abnormität sofort hinderlich in den Weg, nämlich wenn ich vor die Aufgabe gestellt bin, eine Farbengleichung einzustellen; ich bemerke dann immer, dafs namentlich im Bereiche der langwelligen Hälfte des Lichtspektrums die Farbengleichungen für beide Augen etwas verschieden eingestellt werden müssen.

Im Sommer 1906, während eines kurzen Aufenthaltes in Berlin, als Prof. W. Nagel mir seinen Spektralfarbenapparat für Farbenblindheitsdiagnose demonstrierte und ich eine Farbengleichung einstellen sollte, trat die Erscheinung des verschiedenen Verhaltens meiner beiden Augen farbigem Lichte gegenüber sofort ein. Durch eine Reihe orientierender Versuche liefs sich feststellen, dafs die Erscheinung konstant ist und dafs es lohnend ist, eine genaue Bestimmung der bemerkten Abnormität auszuführen. Dank der liebenswürdigen Unterstützung von Prof. Nagel führte ich eine Reihe von Versuchen am Helmholtzschen Farbenmischungsapparat nach demjenigen Plane aus, den Prof. v. Kries für die nähere Prüfung der anomalen Trichromaten angewandt hat, um die Frage zu lösen, ob Pigmentierungsdifferenzen deren Abweichung von den normalen Trichromaten bedingten.

Es wurden die Farben Rot 670 $\mu\mu$ und Grün 540 $\mu\mu$ in mefsbaren Verhältnissen miteinander gemischt und das Gemisch verschiedenen homogenen Lichtern zwischen Rot und Grün gleich gemacht. Die Ergebnisse einer Reihe von Einstellungen seien in Form nachstehender Tabelle angeführt.

(Siehe Tabelle auf S. 370—371.)

Der erste Stab enthält die Wellenlänge des homogenen Vergleichslichtes, der zweite und dritte die Nicolstellungen für beide Augen und der vierte endlich den hieraus berechneten Quotienten der Rot-Grünverhältnisse beider Augen.

Die Nicolstellung ergibt das Mischungsverhältnis von Rot zu Grün ausgedrückt in Graden, $\frac{\text{Rotmenge}}{\text{Grünmenge}} = \frac{\sin^2\alpha}{\cos^2\alpha}$. Dieses Verhältnis ist für beide Augen bestimmt worden und zwar so, dafs ich die Einstellung der Mischung entsprechend einem homogenen

Tabelle.

Wellenlänge des homogenen Lichtes	Nicolstellung für linkes Auge	Nicolstellung für rechtes Auge	Quotient der Rot-Grün-Verhältnisse links und rechts
556	42,9	43,3	1,00
	42,4	42,9	
	42,8	43,4	
	42,7	43,3	
	43,8	43,9	
	40,5	45,2	
	43,3	42,9	
	47,0	45,9	
	47,0	43,1	
	45,2	43,2	
	Mittel 43,76	Mittel 43,71	
567	45,0	44,6	1,24
	46,1	43,0	
	47,5	44,0	
	47,2	43,0	
	47,5	43,0	
	Mittel 46,66	Mittel 43,52	
578	54,0	50,1	1,30
	54,2	49,9	
	53,7	50,9	
	54,8	50,0	
	53,8	81,0	
	Mittel 54,10	Mittel 50,38	
(Natriumlicht) 589	59,6	57,7	1,57
	59,7	57,1	
	60,0	57,8	
	59,7	57,4	
	59,7	57,2	
	59,7	58,2	
	59,8	57,8	
	59,7	57,6	
	59,7	57,8	
	59,2	57,1	
	Mittel 59,68	Mittel 57,57	

Wellenlänge des homogenen Lichtes	Nicolstellung für linkes Auge	Nicolstellung für rechtes Auge	Quotient der Rot-Grün-Verhältnisse links und rechts
611	71,7 71,8 71,2 72,0 71,8	69,2 69,3 70,2 69,7 70,5	1,25
	Mittel 71,7	Mittel 69,8	
623	79,2 77,8 76,0 77,2 77,0	77,0 77,2 76,8 77,0 76,0	1,10
	Mittel 77,4	Mittel 76,8	

Lichte mehrere (5 bis 10) Mal nacheinander für das eine Auge und dann für das andere ebensoviel Mal ausführte. Aus dem zahlenmäfsig bestimmten Verhältnis wurde dann der Quotient der Verhältnisse berechnet, der in unserem Falle dieselbe Bedeutung hat, wie der Quotient der Mischungsverhältnisse für Rot und Grün seitens der anomalen und normalen Trichromaten in analogen Versuchen von v. Kries.

Es ist aus der Tabelle zu ersehen, dafs der Quotient bei verschiedenen homogenen Vergleichslichtern durchaus nicht konstant ist, wie er sein müfste, wenn eines der beiden in die Mischung eingehenden Lichter im einen Auge merklich stärker als im anderen geschwächt würde, sondern von beiden Seiten her zum Natriumgelb deutlich ansteigt. Es ist also dadurch bewiesen, dafs die Verschiedenheit beider Augen nicht einfach physikalisch erklärt werden kann; man kann dieselbe beispielsweise nicht auf eine Ungleichheit der Makulafärbung zurückführen, denn in diesem Falle würde der Quotient entsprechend der konstant bleibenden Verschiedenheit der Absorptionsverhältnisse beider Augen keine Änderung aufweisen. Es mufs vielmehr angenommen werden, dafs analog den Verhältnissen bei Anomaltrichromaten wir es hier mit Verschiedenheiten physiologischer Erregbarkeitsverhältnisse beider Augen zu tun haben.

Wie man sieht, ist das Verhältnis beider Augen zueinander bei mir ein ähnliches, wie es SULZER bei sich beobachtet und auf Veranlassung von DONDERS (a. a. O.) mitgeteilt hat. Auch bei ihm ist das Rotgrün-Verhältnis in einer Gelbmischung rechts merklich anders, wie links. Berechnet man aus seinen Mischungsgleichungen den entsprechenden Quotienten $\frac{\text{rechts}}{\text{links}}$ für 589 als Vergleichslicht, wie oben für meine Augen, so erhält man den Wert 1,7. Bei mir beträgt der entsprechende Wert 1,57. Die Verschiedenheit der Augen SULZERS scheint also noch erheblicher gewesen zu sein, als die bei mir gefundene, aber von gleicher Art. Auch bei ihm zeigt sich der maximale Unterschied bei einem Licht von 589 als Vergleichslicht. Der gröſseren Differenz an diesem Punkte des Spektrums entspricht die Angabe SULZERS, daſs noch bei der Stelle der Lithiumlinie (670) eine beträchtliche Differenz zwischen rechts und links nachweisbar ist, während bei mir schon für ein Licht von 629 $\mu\mu$ der Unterschied an der Grenze der Nachweisbarkeit liegt.

(Eingegangen am 5. November 1906.)

Aus dem Physiologischen Institut zu Freiburg i. B.

Über die zur Erregung des Sehorgans erforderlichen Energiemengen.

Nach Beobachtungen von Herrn Dr. EYSTER mitgeteilt

von

J. VON KRIES.

Wie bekannt, ist es zuerst TÖPLER und BOLTZMANN [1], später insbesondere Lord RAYLEIGH [2] und WIEN [3] gelungen, die für eine merkliche Erregung des Gehörorgans erforderlichen Energiemengen in absolutem Maſse zu ermitteln. Die überraschenden Ergebnisse dieser Untersuchungen haben den Wunsch hervorgerufen, auch für das Sehorgan zu ähnlichen Feststellungen zu gelangen. Ein Versuch in dieser Richtung ist meines Wissens zuerst von WIEN gemacht worden, der in seiner Dissertation „Über die Messung von Tonstärken" berechnet, daſs „die sichtbare Strahlung" der lichtschwächsten noch sichtbaren Sterne dem Auge eine Energie von etwa $4 \cdot 10^{-8}$ Erg in der Sekunde zuführt.

Neue Ermittlungen in dieser Richtung [4] konnten wohl angezeigt erscheinen, teils weil jener Berechnung nur anderweit bekannte Tatsachen, nicht direkt für diesen Zweck angestellte

---

[1] TÖPLER und BOLTZMANN: *Wiedemanns Annalen.* 116. S. 321. 1870.

[2] RAYLEIGH: Proceed. of the R. Society 26, S. 248. 1878. *Phil. Magazine* 10, S. 370. 1894.

[3] WIEN, Diss., Berlin 1888. *Wiedemanns Annalen* 36. S. 849. 1889. *Pflügers Archiv* 97, S. 1. 1903.

[4] Ich hätte gewünscht hier in spezieller Weise auf die einer ähnlichen Aufgabe gewidmeten Versuche von GRIJNS und NOYONS (*Engelmanns Archiv* 1905. S. 25) eingehen zu können. Leider ist es mir nicht gelungen von dem Verfahren und der Berechnung der genannten Autoren eine so sichere Vorstellung zu gewinnen, daſs ich mir ein Urteil über ihre Ergebnisse gestatten könnte.

Untersuchungen zugrunde lagen, besonders aber, weil für Versuche dieser Art gegenwärtig in verschiedenen Beziehungen günstigere Bedingungen gegeben sind. Ich habe daher Herrn Dr. Eyster veranlafst, Versuche dieser Art auszuführen; er hat mit Sorgfalt und Ausdauer die erforderlichen Beobachtungen durchgeführt, deren Ergebnisse ich nachstehend mitteile.

Was den Plan und die allgemeine Anordnung der Untersuchung anlangt, so ist zunächst als ein die Erreichung unseres Zieles sehr erleichternder Umstand anzuführen, dafs durch die Beobachtungen Angströms[1] die Verteilung der Energie im Spektrum eines genau bestimmten und leicht zugänglichen Normallichtes, nämlich der Hefnerlampe, festgestellt worden ist. Diese Bestimmungen bilden daher die physikalische Unterlage der folgenden Ermittlungen. Sodann aber haben sich unsere Kenntnisse über die Sichtbarkeitsbedingungen schwacher Lichter im letzten Jahrzehnt sehr vervollständigt; wir sind daher in der Lage, die für solche Versuche wünschenswertesten Modalitäten mit gröfserer Genauigkeit zu fixieren.

Zunächst wissen wir, dafs die Empfindlichkeit des Sehorgans gegenüber schwachen Lichtern an verschiedenen Stellen der Netzhaut (oder des somatischen Gesichtsfeldes nach Herings Ausdruck) eine sehr verschiedene ist, und dafs sie überdies in hohem Mafse von dem jeweiligen Zustande des Sehorgans abhängt. Will man die geringsten, überhaupt unter irgend welchen Umständen zu einer merklichen Erregung genügenden Energiemengen kennen lernen, so wird es also geboten sein im Zustande hochgradiger Dunkeladaptation zu beobachten und aufserdem Sorge zu tragen, dafs das auf seine Sichtbarkeit zu prüfende Licht nicht etwa im Fixationspunkt oder in seiner unmittelbaren Nähe sich befindet, sondern auf den die höchste Empfindlichkeit besitzenden exzentrischen Netzhautstellen abgebildet wird. Dafs diese Bedingung in den Beobachtungen, auf die die Angabe Wiens zurückgeht, annähernd erfüllt waren, ist wohl möglich; indessen erscheint es doch, da nicht absichtlich darauf Bedacht genommen worden ist, nicht sicher.

Von noch gröfserer Wichtigkeit ist der zweite hier anzuführende Punkt. Es ist schon lange bekannt, dafs die Wirkung

---

[1] K. Angström. Energie dans le spectre visible de l'étalon Hefner. Nova Acta Soc. scient. Upsala. III. 1903.

des Lichtes auf das Sehorgan abgesehen vom Energiewert auch von der Art der Strahlung (der Wellenlänge) abhängt. Energiewert und Sichtbarkeit können demzufolge in den allerverschiedensten Verhältnissen stehen. Ermittelt man also dieses Verhältnis für irgend einen Bereich von Wellenlängen, etwa das, was die Physiker schlechtweg die sichtbare Strahlung zu nennen pflegen, nämlich die gesamten Wellenlängen unter 760 $\mu\mu$, so erhalten wir einen Wert, der sich auf einigermafsen willkürlich gewählte Verhältnisse bezieht, und jedenfalls nicht den kleinsten, überhaupt zur Erregung des Sehorgans hinreichenden Energiewert. Um diesen zu erhalten, wird es vielmehr erforderlich sein, gerade diejenige Strahlung zu prüfen, die, unter diesem Gesichtspunkt betrachtet, als die günstigste bezeichnet werden kann, d. h. diejenige, die mit dem relativ geringsten Energiewert zu einer merklichen Erregung des Sehorgans führt. Bekannte Erfahrungen haben nun gelehrt, dafs auch in dieser Beziehung die Verhältnisse sehr wechselnde sind. Bei welcher Wellenlänge die kleinsten Energiemengen sichtbar werden, hängt in hohem Mafse vom Zustande des Sehorgans und auch davon ab, auf welche Teile desselben die Strahlung einwirkt. Als die nächstliegende und am schärfsten charakterisierte Aufgabe empfiehlt sich nun auch in dieser Beziehung die Untersuchung des dunkeladaptierten Auges auf mäfsig exzentrischen Stellen. Die Wirkungsstärke verschiedener Lichter ist unter diesen Umständen durch ihre Dämmerungswerte gegeben. Da die Verteilung dieser im Spektrum durch eine Reihe sorgfältiger und gut übereinstimmender Beobachtungen bekannt geworden, andererseits auch bereits durch die grundlegenden Versuche Langleys die Verteilung der Energiewerte im Spektrum ermittelt worden war, so gestatteten die bekannten Tatsachen schon vordem diejenige Strahlung anzugeben, bei welcher (unter den Bedingungen des Dämmerungssehens) das Verhältnis der Sichtbarkeit zur Energie seinen höchsten Wert erreicht, oder einem bestimmten Energiebetrag der höchste Reizwert zukommt. Berechnungen dieser Art sind denn auch bereits wiederholt ausgeführt worden und zwar von König[1] und von Trendelenburg.[2] Sie ergeben, dafs die zur Erregung des Sehorgans (unter den Bedingungen des

[1] Helmholtz-Festschrift 1891. S. 359.

[2] *Diese Zeitschrift* **37**, S. 41.

Dämmerungssehens) günstigste Strahlung auf etwa 505 $\mu\mu$ angesetzt werden kann. Dieser Punkt des Spektrums fällt, wie gleichfalls von den beiden genannten Autoren übereinstimmend ermittelt wurde, mindestens sehr annähernd mit demjenigen zusammen, an dem die Lichtabsorption im Sehpurpur ihren gröfsten Wert erreicht. Da es aus theoretischen Gründen für wahrscheinlich gelten kann, dafs in der Tat die vom Sehpurpur am stärksten absorbierte Strahlenart die am günstigsten wirkende sein wird, so wurde für unsere Versuche ein Licht von der (durchschnittlichen) Wellenlänge 507 $\mu\mu$ gewählt.[1]

Endlich kommt es bei der Abhängigkeit des physiologischen Erfolges von der Energiemenge sehr auf die räumliche und zeitliche Verteilung derselben an. In ersterer Beziehung ist die Gröfse des Feldes zu beachten, in letzterer die Einwirkungszeit, sofern man nicht (was auch zulässig erscheint) die Frage so stellt, dafs ermittelt werden soll, welche Energiemengen pro Zeiteinheit einwirken müssen, damit ein Licht (bei längerer Einwirkung) dauernd sichtbar ist. Auch in diesen Beziehungen ergeben uns eine Reihe von Beobachtungen der letzten Jahrzehnte genügende Anhaltspunkte, um die für unseren Zweck geeigneten Bedingungen festzusetzen. Was die Feldgröfse angeht, so haben die Versuche Pipers[2] ergeben, dafs bei etwas gröfseren Feldern die Erleuchtungsstärke, bei der die Sichtbarkeitsgrenze liegt, mit der Gröfse der Felder sinkt und zwar etwa der Seitenlänge umgekehrt proportional ist. Da die Feldgröfse und somit die dem Sehorgan zugeführten Energiemengen dem Quadrat der Seitenlänge proportional sind, so folgt, dafs die zur Erregung erforderlichen Energiemengen mit abnehmender Feldgröfse immer kleiner werden, m. a. W., dafs eine bestimmte Energiemenge um so günstiger wirkt, auf eine je kleinere Netzhautstelle sie konzentriert wird. Andererseits zeigen jedoch ältere Versuche, dafs, wie auch

[1] Gehen wir von den Vorstellungen der Duplizitätstheorie aus, so würden hier die geringsten zu einer Erregung des Stäbchenapparates erforderlichen Energiemengen ermittelt. Es wäre wohl nicht unmöglich, bei Wahl anderer passender Lichter und möglichst streng fovealer Beobachtung die analogen Bestimmungen auch für den Zapfenapparat auszuführen. Leider hat dem Herrn Beobachter seine Zeit nicht gestattet, diese (eine erheblich andere Technik erfordernde) Aufgabe auch noch in Angriff zu nehmen.

[2] *Diese Zeitschrift* 32. S. 98.

theoretisch zu erwarten, diese Art der Abhängigkeit bei weitgehender Verkleinerung der Felder ihre Grenze findet; sie wird zuletzt durch die andere ersetzt, daſs die erforderliche Helligkeit der Feldgröſse umgekehrt proportional ist. Innerhalb dieses Bereiches sehr kleiner Felder sind also die Produkte aus Feldgröſse und Helligkeit oder die zugeführten Energiemengen konstant; m. a. W.: die Sichtbarkeit einer bestimmten Energiemenge wird, wenn die Feldgröſse einmal unter einen gewissen Wert verkleinert ist, durch noch weitere räumliche Zusammendrängung nicht mehr begünstigt. Es ergibt sich hieraus, daſs, wenn wir die geringsten Energiemengen suchen, die unter den in dieser Hinsicht günstigsten Bedingungen eine merkliche Erregung des Sehorgans erzielen können, es nicht nötig ist, auf unmeſsbar kleine Objekte (wie die Fixsterne) zurückzugehen, sondern eine Verkleinerung der Felder auf oder unter einen bestimmten Wert erforderlich, aber auch genügend ist. Nach den Angaben von ASHER[1] würde das Gesetz der Konstanz der Energiemengen (also der umgekehrten Proportionalität zwischen Lichtstärke und Feldgröſse) bis zu einer Ausdehnung von zwei Bogenminuten gültig sein.

In vieler Hinsicht ähnlich liegen die Dinge für die zeitlichen Verhältnisse. Da die Vermehrung der Einwirkungszeit über einen gewissen Betrag hinaus der Sichtbarkeit nicht mehr erheblich zugute kommt, so wird die Erregung jedenfalls bei relativ kurzen Expositionszeiten mit kleineren Energiemengen möglich sein. Auch hier aber ist eine Grenze zu erwarten und durch ältere Versuche auch gefunden worden, unterhalb deren die erforderlichen Energiemengen sich nicht mehr weiter vermindern, vielmehr die Helligkeit der noch weiter abnehmenden Expositionszeit umgekehrt proportional vermehrt werden muſs. Nach den Beobachtungen von CHARPENTIER[2] würde jene Grenze etwa bei $^1/_8$ Sek. (125 σ) zu suchen sein.

Im ganzen ergab sich somit für den Versuch die Anforderung, die Energiemengen zu ermitteln, die das Auge treffen, wenn (bei hochgradiger Dunkeladaptation und günstigster exzentrischer Beobachtung) Felder von ca. 2′ Ausdehnung während Zeiten von weniger als 125 σ von einem Lichte von 507 $\mu\mu$ durchschnittlicher

[1] *Zeitschr. f. Biologie* **17**.

[2] *Arch. d'ophtalmologie* **10**. 1890.

Wellenlänge und solcher Stärke erleuchtet werden, dafs das Objekt sich an der Grenze der Sichtbarkeit befindet.

Die allgemeine Einrichtung der Versuche war die, dafs mit Hilfe des im Freiburger Physiologischen Institut schon vielfach benutzten gradsichtigen Spektralapparats ein mit homogenem Licht erhelltes Feld hergestellt wurde, dessen Lichtstärke mittels eines, die Weite des Kollimatorspalts regulierenden, vom Beobachtungsplatze aus zu handhabenden Schnurlaufes einzustellen war. Der Spektralapparat war derart in die Öffnung einer die beiden optischen Zimmer trennenden Wand eingefügt und abgedichtet, dafs von der zu benutzenden, in dem einen Zimmer aufgestellten Lichtquelle nur das durch jenen Spalt und den Apparat hindurchgehende, aber kein direktes Licht in das andere Zimmer (in dem der Beobachter sich befand) dringen konnte. Durch den, in 1 m Abstand von der Objektivlinse angebrachten Okularspalt blickend, sah der Beobachter somit das mit homogenem Licht erhellte Feld auf tiefschwarzem Grunde. Der Okularspalt war in diesem Falle auf einer besonderen Vorrichtung angebracht, die im wesentlichen aus einem starken, horizontalliegenden Messingarm besteht, der mittels einer Tangentenschraube um eine senkrechte Achse drehbar ist, wobei die Verschiebungen an einer Kreisteilung mit Nonius abzulesen sind. Durch Aufsuchung derjenigen Punkte, bei denen die Li-, Na-, Tl- und Sr-Linie in der Mitte des Spalts sichtbar wurden, konnte der Apparat in bekannter Weise graduiert und der Okularspalt auf eine bestimmte Wellenlänge eingestellt werden.

Als Lichtquelle sollte aus den vorhin erwähnten Gründen jedenfalls die Hefnerlampe dienen. In welcher Weise sie zweckmäfsig zu benutzen sein würde, konnten allerdings erst die Versuche selbst lehren. Einige Vorversuche bestätigten (was sich im voraus vermuten liefs), dafs eine direkte Erleuchtung des Spalts durch die Lampe viel zu grofse Helligkeiten ergab. Passende Werte erzielten wir dagegen, wenn vor dem Objektivspalt ein weifses Papierblatt aufgestellt und in der Stärke von einigen M. K. beleuchtet war. Hieraus ergab es sich als wünschenswert so zu verfahren, dafs der Spalt sein Licht von einer weifsen Fläche erhielt, die aus mäfsigen Entfernungen durch die Hefnerlampe bestrahlt wird. Eine Berechnung der in das Auge gelangenden Energiemengen ist unter diesen Umständen, wie unten zu besprechen ist, mit genügender Annäherung möglich. Um

streng definierte Versuchsbedingungen zu haben, die immer wieder eine genau gleiche Herstellung und auch eine Kontrolle der für die Berechnung zu machenden Annahmen gestatten, wurde als weifse Fläche nicht ein Papierblatt oder Gypsplatte benutzt, sondern nach dem Vorgange Königs eine mit Magnesiumoxyd gleichmäfsig bedeckte Blechplatte.

Die Anordnung war dabei stets so, dafs diese Platten senkrecht stand und zwar unter 45° gegen die Achse des Kollimatorrohrs geneigt. Ferner wurde die Lichtquelle so aufgestellt, dafs die von ihr kommenden Strahlen gleichfalls unter 45° auf die Platte auftrafen. Der Abstand der Hefnerlampe von der weifsen Fläche konnte dann beliebig gewählt werden.

Die Feldgröfse konnte durch Vorsetzung von Diaphragmen verschiedener Gröfse vor die Objektivlinse leicht in beliebiger Weise hergestellt werden; ich habe kreisrunde Öffnungen von 1 bis 10 mm Durchmesser benutzt, die, aus der Entfernung von 97 cm gesehen, unter Winkeln von 3,5—35 Minuten erschienen.

Was die Normierung der zeitlichen Verhältnisse angeht, so erschien es, abgesehen von der technischen Bequemlichkeit auch aus Gründen der Beobachtung selbst unbedingt wünschenswert, periodisch wiederholte Reize zu benutzen. Denn gerade die regelmäfsige Wiederholung in einem bekannten Intervall bietet ein aufserordentlich wertvolles Hilfsmittel für die Gewinnung eines sicheren Kriteriums, ob ein Licht sichtbar ist oder nicht. Andererseits kann bei den hier benutzten Lichtstärken, bei denen die primären Reizerfolge an der Grenze der Sichtbarkeit stehen, von einer Störung durch die ihrem Betrage nach weit zurückbleibenden sekundären und tertiären Bilder wohl kaum die Rede sein, wenn die Periode der Wiederholung gröfser als eine Sekunde ist.

Wir benutzten daher eine vor dem Objektivspalt aufgestellte Scheibe, die einen auf wechselnde Gröfsen einzustellenden Sektorausschnitt besafs. Die Scheibe konnte durch einen Elektromotor mit Zentrifugalregulierung in langsame Rotation versetzt werden. Im allgemeinen liefsen wir sie eine Umdrehung p. Sek. machen, in einigen Versuchen auch nur eine Umdrehung in 4 Sek.

Da die Absicht der Versuche nicht dahin ging, die Empfindlichkeit einer bestimmten Netzhautstelle, sondern die überhaupt irgendwo vorhandene höchste zu ermitteln, so durften die Beobachtungen mit beliebig wanderndem Blick ausgeführt werden,

und es war von der Benutzung eines Fixierzeichens im eigentlichen Sinne abzusehen. Indessen erwies es sich doch schon bei den ersten orientierenden Versuchen als wünschenswert, in mäfsiger Entfernung von dem zu beobachtenden Felde ein immer sichtbares Lichtpünktchen anzubringen. Ohne es zu fixieren, wird der Beobachter durch ein solches doch stets darüber unterrichtet, wo das eigentliche Beobachtungsobjekt liegt, so dafs die Bestimmungen hierdurch sehr an Sicherheit gewinnen und erleichtert werden. Ein solches, natürlich auch nur wenig über der Sichtbarkeitsgrenze stehendes rotes Lichtpünktchen wurde daher in allen Versuchen benutzt.

Schliefslich ist noch anzuführen, dafs stets abwechselnd mit zunehmender Spaltweite der Punkt des Sichtbarwerdens und mit abnehmender Spaltweite der des Unsichtbarwerdens bestimmt wurde. Die in den folgenden Tabellen aufgeführten Zahlen sind die Mittelwerte aus je 10 Einstellungen der einen und der anderen Art, die abwechselnd ausgeführt wurden.

Was die spezielle Anordnung der Versuche angeht, so erschien es uns zweckmäfsig, nicht einfach unter fixierten Bedingungen zu wiederholten Malen Schwellenwerte aufzusuchen, sondern immer eine bestimmte Variierung, sei es der zeitlichen, sei es der räumlichen Verhältnisse (Feldgröfse) vorzunehmen. Einerseits liefsen sich dadurch suggestive Beeinflussungen mit gröfserer Sicherheit vermeiden. Andererseits ergab sich so auch die Möglichkeit über die Gültigkeit der vorhin erwähnten diesbezüglichen Gesetze aus eigener Anschauung ein Urteil zu gewinnen. Es wurden also in einigen Reihen die Expositionszeiten (durch wechselnde Einstellung des Schlitzes in der rotierenden Scheibe) unter Konstanterhaltung aller sonstigen Umstände verändert, in anderen ausschliefslich die Feldgröfse variiert.

Der ersteren Kategorie gehören die Tabellen 1 und 2 an. — Sie enthalten im ersten Stabe die Weite jenes Schlitzes, im 2. die Expositionszeiten, im 3. und 4. die für Unsichtbar- und Sichtbarwerden des Feldes eingestellten Spaltweiten (jede Zahl ist das Mittel von 10 Einstellungen), im 5. das arithmetische Mittel beider, in 6. endlich das Produkt aus diesem Werte und der Expositionszeit.[1] Man bemerkt, dafs in Tab. 1, die nur bis

[1] Über die Bedeutung der hier mit der Bezeichnung „Konstanter Koeffizient" in Parenthese angeführten Zahlen vgl. u. S. 385.

Tabelle 1. (Vorversuche.)

Feldgröfse 10 mm. 5 kerzige Glühlampe in 2 m Abstand.

Breite des umlaufenden Spalts	Expositionszeit ϑ in Sek.	Abgelesene Spaltweiten für Verschwinden des Objektes	Abgelesene Spaltweiten für Sichtbarkeit des Objektes	Mittel m.	Produkte ϑ m.
7,5	0,0075	67,2	85,4	76,3	0,572
15	0,015	50,6	65,0	57,8	0,867
22,5	0,0225	37,3	51,0	44,15	0,993
30	0,030	29,9	40,7	35,3	1,059
37,5	0,037	22,5	31,2	26,85	1,006
45	0,045	18,0	27,6	22,5	1,012
60	0,060	11,5	19,2	15,35	0,921
75	0,075	9,9	16,25	13,06	0,929
90	0,090	9,2	14,6	11,92	1,072

Tabelle 2.

Feldgröfse 3 mm. 1 Hefnerlampe in 25 cm Abstand.
Ein Umlauf der rotierenden Scheibe in 4 Sek. (Konstanter Koeff. 113.)

Breite des umlaufenden Spalts	Expositionszeit ϑ in Sek.	Eingestellte Spaltweiten für Verschwinden des Objektes	Eingestellte Spaltweiten für Sichtbarkeit des Objektes	Mittel m.	Produkte ϑ m.
3,12	0,0125	54,7	65,1	59,9	*0,799*
3,9	0,016	49,75	52,0	50,0	*0,780*
6,25	0,025	32,17	36,9	34,50	*0,862*
7,8	0,031	21,5	27,18	24,34	*0,753*
12,5	0,050	13,87	16,75	15,31	*0,765*
15,6	0,062	12,5	15,18	13,84	*0,855*
25,0	0,100	7,37	11,00	9,19	*0,919*
31,25	0,125	5,31	7,94	6,62	*0,825*
41,66	0,166	4,69	7,81	6,25	1,038
50,00	0,200	4,31	6,44	5,37	1,074
62,5	0,250	3,31	5,75	4,53	1,132
87,5	0,333	2,02	5,5	4,06	1,352
100,0	0,400	2,00	3,88	2,83	1,172
125	0,500	2,00	4,00	3,00	1,500
150,0	0,600	1,94	3,94	2,94	1,944

zu Expositionszeiten von 0,09 Sek. heraufgeht, die letztgenannten Zahlen annähernd konstant sind, also das oben besprochene Proportionalitätsgesetz in der Tat zutrifft.[1] Die über einen gröfseren Bereich sich erstreckenden Versuche der Tab. 2 lassen erkennen, dafs hier (in recht guter Übereinstimmung mit Charpentier) das Gesetz der umgekehrten Proportionalität etwa bis zur Expositionszeit $^1/_8$ Sek. gültig ist. Bei noch weiterer Vermehrung derselben fangen, wie aus Tab. 2 ersichtlich, die Produkte von Zeit und Lichtstärke zu wachsen an. Immerhin geht bei Vermehrung der Einwirkungszeit die erforderliche Lichtstärke noch weiter, sicher etwa bis zu $^1/_2$ Sek. herunter. Hiernach liefs sich sagen, dafs wir uns bei Expositionszeiten bis zu $^1/_8$ Sek. sicher in demjenigen Bereiche befinden, in dem mit den relativ kleinsten Energiemengen eine Erregung erzielt wird.

Auf etwas gröfsere Schwierigkeiten sind wir bei der Variierung der Feldgröfsen gestofsen. Die in dieser Weise angeordneten Versuche sind in den Tabellen 3—7 enthalten, die, sonst ebenso

Tabelle 3.

Expositionszeit 0,03 Sek. 5kerzige Glühlampe in 2 m Abstand.

Durchmesser des Feldes D.	Eingestellte Spaltweiten für Verschwinden des Objektes	für Sichtbarkeit des Objektes	Mittel m.	Produkt ϑ m.	Produkt $\left(\frac{D}{2}\right)^2\pi$. m.
10	25,86	36,6	31,23	312,3	2452,8
8	36,67	42,4	39,55	316,4	1989,6
7	39,62	55,0	47,31	331,2	1820,5
5	46,55	64,4	55,49	277,5	1137,9

Tabelle 4.

Expositionszeit 0,07 Sek. 1 Hefnerlampe in 50 cm Abstand (Koeff. 0,28).

Durchmesser des Feldes D.	Eingestellte Spaltweiten für Verschwinden des Objektes	für Sichtbarkeit des Objektes	Mittel m.	Produkt ϑ m.	Produkt $\left(\frac{D}{2}\right)^2\pi$. m.
10	5,2	11,2	8,2	82,0	644
2	78,4	95,0	86,7	173,4	272,4

[1] Ob die geringe Abweichung der Zahl für 15 und die stärkere für 7,5 σ als zuverlässig zu betrachten sind, darf wohl bezweifelt werden.

Tabelle 5.

Expositionszeit 0,05 Sek. 1 Hefnerlampe in 50 cm Abstand (Koeff. 0,2).

Durchmesser des Feldes D.	Eingestellte Spaltweiten für Verschwinden des Objektes	für Sichtbarkeit des Objektes	Mittel m.	Produkt ϑ m.	Produkt $\left(\frac{D}{2}\right)^2 \pi$. m.
10	6,75	11,73	9,24	92,4	725,7
8	11,62	16,4	14,01	112,08	704,2
7	15,57	19,33	17,45	122,15	671,1
5	26,85	30,31	28,61	143,05	562,8
2	78,1	90,30	84,21	168,42	*264,5*

Tabelle 6.

Expositionszeit 0,05 Sek. 1 Hefnerlampe in 25 cm Abstand (Koeff. 0,8).

Durchmesser des Feldes D.	Eingestellte Spaltweiten für Verschwinden des Objektes	für Sichtbarkeit des Objektes	Mittel m.	Produkt ϑ m.	Produkt $\left(\frac{D}{2}\right)^2 \pi$. m.
7	3,10	6,00	4,55	31,85	174,0
5	5,00	7,83	6,42	32,0	126,9
4	6,23	10,00	8,11	32,46	101,8
3	9,00	12,66	10,83	32,49	*76,5*
2	23,38	28,88	26,13	52,24	*82,36*

Tabelle 7.

Expositionszeit 0,05 Sek. 2 Hefnerlampen in 25 cm Abstand (Koeff. 0,6).

Durchmesser des Feldes D.	Eingestellte Spaltweiten für Verschwinden des Objektes	für Sichtbarkeit des Objektes	Mittel m.	Produkt D. m.	Produkt $\left(\frac{D}{2}\right)^2 \pi$. m.
3	6,33	10,35	8,54	25,6	*60,38*
1	72,00	79,33	75,66	75,6	*59,4*

eingerichtet wie die vorhin erwähnten, nur im 1. Stabe statt der Expositionszeiten die Durchmesser des erleuchteten Feldes (in Millimetern), im 5. das Produkt aus diesem Durchmesser und dem Mittel der eingestellten Spaltweiten, endlich im 6. das Produkt aus Spaltweite und der Flächengröfse des Feldes aufführen.

Bei dieser Einrichtung würde, wie man sieht, die Gültigkeit des Proportionalitätsgesetzes sich in einer Konstanz der Zahlen des 6. Stabes ausdrücken, während, wenn die von Piper aufgestellte Regel hier bereits zuträfe, sich dies durch die Konstanz der Werte des 5. Stabes kenntlich machen wird.

Überblickt man daraufhin die Tabellen 3—7, so zeigt sich, dafs die erforderlichen Energiemengen durch Verkleinerung des Feldes bis zu einem Durchmesser von etwa 3 mm abnehmen. Dagegen scheint mit 3 mm der kleinste Wert erreicht (Werte für 3 und 2 mm in Tab. 6, Werte für 3 und 1 mm in Tab. 7).

Über die Gültigkeit der Piperschen Regel für gröfsere Felder läfst sich hier ein sicheres Urteil nicht gewinnen. In Tab. 5 nehmen die Zahlen des 5. Stabes (bei sinkender Feldgröfse) deutlich zu, wonach die Abhängigkeit für diese (ja schon sehr kleinen Felder) zwischen der durch die Pipersche Regel ausgedrückten und dem Proportionalitätsgesetz in der Mitte liegen würde. Weniger deutlich ist dies in Tab. 3, wo der Wert des 5. Stabes für 5 mm Feldgröfse sogar wieder vermindert erscheint.

Da es wünschenswert erschien, unsere Ergebnisse mit den oben erwähnten Berechnungen Wiens vergleichbar zu machen, so wurden auch einige Bestimmungen über diejenigen Helligkeiten ausgeführt, die bei d a u e r n d e r Erleuchtung des Feldes zu einer Sichtbarkeit desselben erforderlich sind. Die Werte, die hier erhalten wurden, sind in Tab. 8 und 9 enthalten.

Tabelle 8.

1 Hefnerlampe in 25 cm Abstand. Diaphragma 2 mm (konstanter Koeff. 50,2).

Expositionszeit ϑ	Eingestellte Spaltweiten f. Verschwinden des Objektes	f. Sichtbarkeit des Objektes	Mittel m	Produkt ϑ m.
0,05 Sek.	22,1	27,3	24,7	*1,235*
Dauerexpos.	2,25	5,12	3,69	—

Tabelle 9.

1 Hefnerlampe in 25 cm Abstand. Dauerexposition. Diaphragma 1 mm.

Eingestellte Spaltweiten für Verschwinden des Objektes	für Sichtbarkeit des Objektes	Mittel
15,19	23,06	19,12

Aus den obigen Tabellen können wir nun sogleich diejenigen Zahlen aussondern, die zur Berechnung der unter den günstigsten Bedingungen erforderlichen Energiemengen geeignet sind. Es sind dies diejenigen Werte die in den obigen Tabellen durch Kursivschrift hervorgehoben sind. Ich stelle im folgenden diese Zahlen zusammen, jedoch so, dafs die in den Tabellen enthaltenen Werte jedesmal noch mit Rücksicht auf die für die ganze Tabelle konstant geltenden Bedingungen (Lichtstärke und Feldgröfse in dem einen, Lichtstärke und Expositionszeit in dem anderen Falle) umgerechnet sind. Die hierfür erforderlichen aus den jedesmaligen Versuchsbedingungen sich ergebenden Koeffizienten sind bereits über jeder Tabelle mit der Bezeichnung „Konstanter Koeffizient" hinzugefügt worden. Die folgenden Zahlen bedeuten also alle Produkte aus Beleuchtungsstärke (in Meterkerzen), Expositionszeit in Sekunden, Feldgröfse in mm² und abgelesenen Spaltweiten (in 0,01 mm). Es berechnet sich so aus Tabelle 2 (Durchschnitt der ersten 8 Werte) 92,0, Tab. 4 76,2, Tab. 5 52,9, Tab. 6 61,2 und 65,9, Tab. 7 96,6 und 95,0, Tab. 8 62,1.

Ferner entnehmen wir den Tabellen 8 und 9 als Werte für die Sichtbarkeit bei dauernder Exposition die Zahlen 186 und 239, als Produkte aus Beleuchtungsstärke, Feldgröfse (in mm²) und abgelesenen Spaltweiten (in Hundertstel mm).[1]

Für die Berechnung der unter unseren Versuchsbedingungen das Auge treffenden Energiemengen dienen uns, wie oben schon erwähnt, die Ermittelungen Angströms. Ihnen zufolge repräsentiert die „sichtbare Strahlung" ($\lambda < 760\ \mu\mu$) die von der Hefnerlampe eine Fläche von 1 cm² im Abstand von 1 m trifft eine Energie von $20{,}6 \cdot 10^{-8}$ Grammcalorien p. Sek., einen Wert, den wir mit E bezeichnen wollen. Auch geben die Bestimmungen an, welche Bruchteile dieses Wertes auf bestimmte Bereiche der

[1] Diese Werte sind niedriger als ich erwartet hatte. Wenn, wie es Charpentier angibt, eine Vermehrung der Expositionszeit über ⅛ Sek. der Sichtbarkeit nicht mehr merklich zugute käme, so müfste man erwarten, bei Dauerexposition etwa das 8fache der bei kurzen Expositionszeiten gefundenen Mengen als Energiezufuhr per Sekunde zu erhalten. Die obigen Werte belaufen sich aber nur auf das 2—3fache jener Beträge. Darin spricht sich aus, dafs auch die Vermehrung der Einwirkungszeit über ⅛ Sek. eine Verminderung der Intensität gestattet, wenn auch nicht in dem vollen Betrage der umgekehrten Proportionalität.

Wellenlänge kommen. A. gibt hierfür die von ihm mit J bezeichneten und in seiner Tabelle 4 im letzten Stabe angeführten Werte, die nach der den Beobachtungen sehr befriedigend entsprechenden Formel $J_\lambda = 0{,}0160\ \lambda^{-5}\ e^{-\frac{7{,}85}{\lambda}}$ berechnet sind. Die Bedeutung dieser Formel ist die, dafs die auf einen kleinen Bereich von Wellenlängen $\Delta\lambda$ von dem durchschnittlichen Betrage λ entfallende Energiemenge $= 0{,}0160\ \lambda^{-5}\ e^{-\frac{7{,}85}{\lambda}}\ \Delta\lambda$ cal. ist, wo $\Delta\lambda$ in μ anzugeben ist.

Um von dieser Formel Gebrauch zu machen, haben wir zu ermitteln, ein wie grofser Bereich von Wellenlängen gemäfs der angewandten Breite des Okularspaltes ins Auge gelangt. Dies wurde bestimmt, indem der Objektivspalt mit Natriumlicht erleuchtet und sodann ermittelt würde, um wie viel der Okularspalt verschoben werden mufste, um die Natriumlinie von einem zum anderen Rande des Okularspaltes wandern zu lassen. Es ergab sich, dafs hierfür eine Verschiebung auf der oben erwähnten Teilung von 16′ erforderlich war, woraus sich, da der Abstand Tl. Sr $= 11^\circ\ 23'$ gefunden war, für die Spaltbreite ein Bereich der Wellenlängen von 1,7 $\mu\mu$ berechnet. In unseren Versuchen betrug daher die durchschnittliche Wellenlänge des benutzten Lichtes 507 $\mu\mu$ und der B e r e i c h der ins Auge gelangenden Wellenlängen 1,7 $\mu\mu$. Hierfür berechnet sich der in Betracht kommende Energiewert nach der obigen Formel auf $1{,}5012\ 10^{-10}$, welchen Wert wir mit F bezeichnen (ca. $\frac{1}{1360}$ derjenigen Energie, die der gesamten s i c h t b a r e n Strahlung zukommt).

Lassen wir diesen Punkt einstweilen noch beiseite und behalten die ganze Energie der sichtbaren Strahlung im Auge, so würde 1 cm² unserer Magnesiumoxydfläche, da sie unter 45° gegen die auffallenden Strahlen geneigt ist, E cos 45° cal. per Sek. erhalten.

Die Berechnung der von der Fläche zurückgeworfenen Strahlung ist leider mit einigen Unsicherheiten behaftet, die jedoch im Hinblick auf den hier verfolgten Zweck nicht von grofsem Belang sind. Man bezeichnet, wie bekannt, für einen rauhen Körper das Verhältnis der gesamten zurückgeworfenen zur auftreffenden Strahlung als seine Albedo. Dieser, natürlich stets durch einen echten Bruch dargestellte Wert ist für verschiedene

weifse Körper öfters bestimmt worden. ZÖLLNER[1] erhielt für weifses Papier 0,7, für frisch gefallenen Schnee 0,78, KANONOWITSCH[2] für weifses Papier 0,825. Nach den Beobachtungen von PERTZ[3] ist eine Magnesiumoxydfläche etwa um $^1/_5$ heller als gewöhnliches weifses Schreibpapier, etwa um 10 % heller als das weifseste im Handel erhältliche (sog. Baryt-)Papier. Wir werden danach keinen grofsen Fehler machen, die zurückgeworfenen Energiemengen wohl eher schon zu hoch als zu niedrig veranschlagen, wenn wir sie, wie wir tun wollen, mit 0,9 der auftreffenden in Rechnung bringen.

Wir müssen sodann eine Annahme darüber machen, wie die Ausstrahlung sich auf die verschiedenen Richtungen verteilt, m. a. W. wie ihr Wert in einer bestimmten Richtung von dem Winkel abhängt, den diese Richtung mit der Normalen des betreffenden Flächenelementes einschliefst. Nach dem LAMBERTschen Grundgesetz haben wir auch hier eine Proportionalität mit dem Kosinus des genannten Winkels anzunehmen. Allerdings haben nun neuere Untersuchungen[4] gezeigt, dafs jenem Gesetze nur eine approximative Gültigkeit zukommt. Da indessen die Abweichungen von ihm nicht sehr beträchtlich sind und von vielerlei Bedingungen in einer zurzeit noch nicht erschöpfend bekannten Weise abhängen, so empfiehlt es sich hier für unseren Zweck ohne Zweifel am meisten, uns an die einfache, von jenem Grundgesetz ausgehende Berechnung zu halten. Setzen wir hiernach die Strahlung auf ein Flächenelement, dw, der um das lichtaussendende Element beschriebenen Einheitskugel $= C \cdot dw \cdot \cos\alpha$, so können wir den Wert der Constante C aus dem der ganzen Ausstrahlung zukommenden Gesamtbetrage ermitteln. Auf eine zwischen den Neigungswinkel α und $\alpha + d\alpha$ eingeschlossene Zone wird nämlich die Energie $C \cdot 2 \sin\alpha \cdot \pi \cdot d\alpha \cdot \cos\alpha$ treffen. Diesen Wert haben wir von $\alpha = o$ bis $\alpha = \frac{\pi}{2}$ zu integrieren, um die Gesamtstrahlung zu erhalten.

---

[1] ZÖLLNER, Photometrische Untersuchungen. Leipzig, 1865.

[2] KANONOWITSCH; zitiert bei BRODHUN, Photometrie in WINKELMANNS Handbuch der Physik 6, S. 751.

[3] PERTZ, Photometrische Untersuchungen über die Schwellenwerte der Lichtreize. Diss. Freiburg. 1896.

[4] WRIGHT. *Drudes Annalen* 1. S. 12. 1900 wo die ältere Literatur angeführt ist.

Es ergibt sich also $C\,\pi \int_0^{\frac{\pi}{2}} 2 \sin\alpha \cdot \cos\alpha\, d\alpha = G^1$, oder da der Wert des Integrals $\int_0^{\frac{\pi}{2}} 2 \sin\alpha \cos\alpha\, d\alpha = 1$ ist, $C\pi = G^1$, wo G^1 die ganze von dem Element ausgestrahlte Energiemenge wäre, und $C = \frac{G^1}{\pi}$. Ist G die dem Element zugestrahlte Energiemenge, so wäre $G^1 = 0{,}9\, G$. Danach würde ein Element unserer weifsen Fläche, wenn es die Energiemenge G erhält, in dem kleinen körperlichen Winkel dw und in einem gegen die Normale unter dem Winkel α geneigten Richtung die Energiemenge
$0{,}9\, G \frac{dw}{\pi} \cos\alpha$ ausstrahlen (in senkrechter Richtung $0{,}9\, G \frac{dw}{\pi}$).

Auch für die weitere Berechnung der ins Auge gelangenden Energiemengen wollen wir zunächst von der prismatischen Zerlegung des Lichts absehen und annehmen, das von dem Objektivspalt entworfene reelle Bild sei so schmal, dafs es ganz in den Okularspalt falle. Unter diesen Umständen würde in das Auge ein schmaler Lichtstreifen fallen, dessen Breite sich durch diejenige des Objektivspalts, und dessen Höhe sich durch die Pupillenweite bestimmen würde. In Ermangelung direkter auf das Auge des Beobachters bezüglicher Bestimmungen habe ich für letztere auf Grund der Messungen GARTENS[1] den Wert von 8 mm angenommen. Wenn man die Vergröfserung kennt, mit der der Objektivspalt in der Ebene des Okularspalts abgebildet wird, so berechnet sich diejenige Höhe am ersteren, die diesen 8 mm entspricht. In unserem Falle ergab eine Messung, dafs der Objektivspalt mit einer Vergröfserung 1 : 4,2 abgebildet wurde. Somit würde eine Fläche (am Objektivspalt) von 1,90 mm Höhe und den als Spaltweiten gemessenen Beträgen als Breite ihr Licht in das Auge gelangen lassen. Ich will diese Fläche die **wirksame Spaltfläche** nennen und mit S^1 bezeichnen.

Um die von dieser Fläche her ins Auge des Beobachters gelangenden Lichtmengen anzugeben, können wir von folgender

---

[1] *Pflügers Archiv* 68. 1897.

Erwägung ausgehen. Da gemäfs bekannten optischen Sätzen die ins Auge gelangende Lichtmenge unabhängig von der Entfernung ist, in der die weifse Fläche vom Spalt aufgestellt ist[1], so können wir, indem wir diese Entfernung uns gleich Null gemacht denken, sagen, dafs die Verhältnisse ebenso sind, wie wenn an der Stelle des Objektivspaltes, jedoch parallel ihrer wirklichen Lage ein Stück der leuchtenden Fläche von der Gröfse $\frac{S^1}{\cos 45^0}$ angebracht wäre. Da aber von diesem das in den Apparat gelangende Licht unter einem Emissionswinkel von 45° ausgehen würde, so erhalten wir, wenn G die der Flächeneinheit der weifsen Tafel zugestrahlte Energie ist, für die in den Apparat eindringende den Wert $G \cdot S^1 \cdot 0{,}9 \frac{k}{\pi}$, wo k den körperlichen Winkel bedeutet mit dem jedes Element des Objektivspaltes zufolge der Gröfse des Diaphragmas wirksam wird; und es würde sich weiter darum handeln, diesen Winkel zu ermitteln.

Auch dies ist ohne Schwierigkeit auszuführen. Wenn nämlich das Diaphragma vom Okularspalt aus unter einem körperlichen Winkel k' erscheint, so ist den Gesetzen der Abbildung

[1] Die Unabhängigkeit der Beleuchtung von dem Abstand der weifsen Fläche erhellt am einfachsten, wenn man erwägt, dafs sich die gesamte das Diaphragma passierende Lichtmenge durch Verschiebung der weifsen Tafel nicht ändert, weil einerseits die Gröfse des Flächenstückes, von dem ein Element des Diaphragmas bestrahlt wird, andererseits der körperliche Winkel unter dem dies Element von der leuchtenden Fläche aus gesehen erscheint (also der Bruchteil der gesamten Strahlung den es erhält), immer in entgegengesetztem Sinne und in gleichem Verhältnis ändern. Es möge a_1 der Abstand des Objektivspaltes von dem durch die optischen Einrichtungen entworfenen Bilde des Diaphragmas sein, k der Winkel unter dem ein bestimmtes Element dieses Diaphragmenbildes von der Ebene des Objektivspaltes aus gesehen erscheint, S^1 die wirksame Fläche des Objektivspaltes. Liegt alsdann die leuchtende Fläche in der Ebene des Objektivspaltes, so wird jenes Element des Diaphragmas eine Lichtmenge erhalten, die S^1 und k proportional ist. Stellen wir die Tafel in den Abstand a_2 vom Objektivspalt, so wird dasselbe Element von einem Stück der leuchtenden Fläche bestrahlt, das im Verhältnis $\frac{(a_1 + a_2)^2}{a_1^2}$ vergröfsert ist, während andererseits der körperliche Winkel unter dem das betrachtete Element nun von der Ebene der Tafel aus gesehen erscheint $= k \frac{a_1^2}{(a_1 + a_2)^2}$ wird, so dafs in der Tat die jenes Element passierende Lichtmenge die nämliche bleibt. Das gleiche gilt natürlich für das ganze Diaphragma.

zufolge diejenige Lichtmenge, die vom Objektivspalt aus durch dasselbe hindurchgeht, gleich derjenigen, die von diesem unter einem körperlichen Winkel k ausgeht $= k' \alpha^2$, wo α die Vergröfserung bedeutet, mit der der Objektivspalt in der Ebene des Okularspaltes abgebildet wird. Dieser Wert betrug, wie oben erwähnt, 4,2. Da die Diaphragmen 970 mm vom Okularspalt abstanden, so ergibt sich als Wert des gesuchten körperlichen Winkels $\frac{O}{970^2}\, 4{,}2^2$, wo O die Fläche des Diaphragmas (in mm²) bedeutet.

Eine letzte an der obigen Berechnung noch anzubringende Korrektion betrifft den Lichtverlust, der durch Reflexion und Absorption in den optischen Apparaten (Kollimator- und Objektivlinse, sowie gradsichtiges Prisma) stattfindet. Eine Bestimmung dieser, voraussichtlich nicht ganz unbeträchtlichen Schwächung erschien wünschenswert und konnte auf die folgende Weise ausgeführt werden. Wenn wir von einer lichtaussendenden Fläche durch eine Linse ein (reelles oder virtuelles) Bild entwerfen, so ist bekanntlich das Bild in demselben Verhältnis gegenüber dem Objekt vergröfsert resp. verkleinert, in dem andererseits der Öffnungswinkel, in dem das Bild zufolge der Linsenöffnung Licht aussendet, im Vergleich zu demjenigen, unter dem ein Punkt des Objektes Licht in die Linse schickt, verkleinert resp. vergröfsert ist. Hieraus ergibt sich, wie bekannt, dafs wir ein solches Bild niemals in gröfserer Helligkeit sehen können als das Objekt selbst bei direkter Betrachtung erscheint. Vielmehr kann die gesehene Helligkeit des Bildes derjenigen des Objektes bei direkter Betrachtung gleichkommen unter zwei Veraussetzungen. Die erste ist die, dafs der von jedem Punkte des Bildes ausgesandte Lichtkegel noch grofs genug ist um die ganze Pupille auszufüllen. Die zweite ist die, dafs kein Lichtverlust durch Reflexion und Absorption in dem abbildenden Instrumente stattfindet. Stellt man hinter einem Diaphragma eine hinreichend grofse gleichmäfsig beleuchtete weifse Fläche auf, so bemerkt man leicht, dafs sich die Helligkeit in der die Öffnung gesehen wird nur in sehr geringem Mafse verändert, wenn man irgend eine beliebige Linse hinter dem Diaphragma anbringt. Diese Verminderung beruht ausschliefslich auf dem Lichtverlust durch Spiegelung und Absorption und kann als Mafs für ihn benutzt werden. Das gleiche gilt auch,

wenn man eine gleichmäfsige Fläche durch ein Prisma betrachtet, für alle Teile, die von den Rändern weit genug entfernt sind, um rein weifs zu erscheinen. Auf Grund dieser optischen Gesetze liefs sich die Lichtschwächung durch Spiegelung und Absorption in den optischen Apparaten leicht ermitteln. Es war nur nötig, nach Entfernung des Okular- und des Objektivspaltes das (nunmehr farblos) erscheinende Diaphragma in seiner Helligkeit zu bestimmen und zwar erstlich während die in den Versuchen benutzten optischen Apparate (Kollimator- und Objektivlinse, sowie geradsichtiges Prisma) sich an Ort und Stelle befinden, sodann nachdem dieselben fortgenommen sind, in welchem letzteren Falle der Beobachter die Fläche direkt, ohne Zwischenschaltung irgendwelcher Gläser sah. Man verfuhr zu diesem Zweck so, dafs die das Licht durchlassende Öffnung in einem weifsen undurchsichtigen Schirm angebracht wurde, der nun seinerseits durch eine im Beobachtungszimmer aufgestellte Lampe beleuchtet wurde. Es konnte dann in dem einen und anderen der erwähnten Fälle (Beobachtung mit und ohne die optischen Apparate) diejenige Lampenentfernung gesucht werden, bei der Fleck und Umgebung gleich hell erscheinen. Als Mittel aus einer gröfseren Zahl von Einstellungen fand sich in dem einen Falle ein Lampenabstand von 185 cm, in anderen von 250 cm erforderlich, woraus sich die gesuchte Lichtschwächung $= \left(\frac{185}{250}\right)^2 = 0{,}548$ berechnet.

In möglichst übersichtlicher Weise in eine Formel zusammengefafst ergibt sich also die ins Auge gelangende Energiemenge $= \vartheta\, L \cos 45^0\, S^1\, \frac{O}{970^2}\, \frac{4{,}2^2}{\pi}\, 0{,}9\, \varepsilon \cdot 1{,}501\; 10^{-10}$ cal. In dieser Formel bedeutet ϑ die Expositionszeit in Sekunden,

L die Stärke der Beleuchtung unserer weifsen Fläche (in Meterkerzen),

S^1 die wirksamen Spaltflächen, d. h. das Produkt aus Spaltbreite und derjenigen Höhe, deren Bild am Okularspalt der Pupillenweite gleichkommt, in cm²,

O die Gröfse des erleuchteten Diaphragmas in mm², somit $O/970^2$ den körperlichen Winkel, unter dem diese Öffnung vom Okularspalt gesehen erscheint und $O/970^2 \cdot 4{,}2^2$ den körperlichen Winkel, den die vom Objektivspalt ausgehende jene Öffnung passierende Strahlung einnimmt;

0,9 die angenommene Albedo der benutzten weifsen Fläche,

ε die Schwächung der Strahlung durch Lichtzerstreuung und Absorption in den optischen Apparaten,

während endlich der Wert $1{,}5010 \cdot 10^{-10}$ cal. diejenige Energiemenge bezeichnet, die nach Angströms Bestimmungen die Hefnerlampe auf 1 cm^2 im Abstande von 1 m pro Sekunde in Form einer Strahlung entsendet, deren Wellenlänge zwischen 506,15 und 507,85 $\mu\mu$ liegt.

Um auf Grund dieser Formel die obigen Ergebnisse zu berechnen, müssen wir noch berücksichtigen, wie sich die wirksamen Spaltflächen S^1 aus den abgelesenen Spaltweiten ergeben. Wie wir sahen, ist die Höhe der wirksamen Spaltfläche = 1,9 mm Die in den Tabellen aufgeführten Zahlen stellen die Spaltweiten in Hundertstel-Millimetern dar. Nennen wir diese S, so ist daher die wirksame Spaltfläche (in cm^2) $= 1{,}9 \cdot S \cdot 10^{-4}$.

Wir erhalten daher schliefslich die Formel

$$\vartheta \cdot L \cdot \cos 45^0 \; 1{,}9 \cdot S \cdot 10^{-4} \; \frac{O}{970^2} \; \frac{4{,}2^2}{\pi} \; 0{,}9 \cdot \varepsilon \cdot 1{,}501 \;\; 10^{-10}$$

(in der S die abgelesenen Spaltweiten in Hundertstel-Millimetern bedeutet).

Die oben angeführten aus den Versuchen entnommenen und etwa zwischen 50 und 100 sich bewegenden Werte sind nun, wie dort erwähnt, die Produkte aus Expositionszeit (in Sekunden), Beleuchtungsstärke, abgelesenen Spaltweiten (in Hundertstel-Millimeter und Diaphragmengröfse (in mm^2). Sie geben also die Produkte von $\vartheta \cdot L \cdot S \cdot O$ und wir haben, um die uns hier interessierenden Energiewerte zu erhalten, sie mit einem Faktor zu multiplizieren, der sich $= \cos 45^0 \cdot 1{,}9 \cdot \frac{4{,}2^2}{970^2 \cdot \pi} \cdot 0{,}9 \cdot \varepsilon \cdot 1{,}501 \;\; 10^{-14}$ cal ergibt. Dieser berechnet sich auf

$6{,}36 \; 10^{-20}$ cal. oder, da 1 cal $= 419 \cdot 10^5$ Erg. ist $= 2{,}66 \; 10^{-12}$ Erg.

Wir finden demnach für die zur Erregung des Sehorgans erforderlichen Energiemengen Werte, die sich auf rund $130—260 \times 10^{-12}$ oder $1{,}3—2{,}6 \cdot 10^{-10}$ Erg. belaufen.

Was ferner die Verhältnisse der Dauerexposition anlangt, so fanden sich hier (als Produkt aus Beleuchtung, Feldgröfse und Spaltweite) die Zahlen 189 und 235, im Mittel 212. Unter Benutzung der obigen Berechnung ergibt sich für die Sichtbarkeit eines dauernd exponierten Lichtes hier eine Strahlung, die dem Auge $212 \cdot 2{,}66 \cdot 10^{-12} = 5{,}6 \cdot 10^{-10}$ Erg. pro Sekunde zuführt.

Das Resultat der obigen Versuche und der daran geknüpften Berechnungen fasse ich im folgenden kurz zusammen.

1. Für eine merkliche Erregung des Sehorgans ist bei Herstellung der günstigsten Bedingungen hinsichtlich Adaptation, Strahlungsart (507 $\mu\mu$) räumlicher und zeitlicher Verhältnisse eine Energiemenge von $1{,}3$—$2{,}6 \cdot 10^{-10}$ Erg. erforderlich.

2. Für die Sichtbarkeit dauernd exponierter Objekte ergibt sich bei günstigster Strahlungsart und günstigster räumlicher Anordnung eine Energiezuführung von ca. $5{,}6 \cdot 10^{-10}$ Erg. pro Sekunde.

Es ist nicht ohne Interesse, diese letzteren Werte und die eingangs erwähnten Angaben Wiens in einen etwas genaueren Vergleich zu bringen. Wie man sieht, betragen unsere Werte etwa $^1/_{70}$ des von Wien gefundenen ($400 \cdot 10^{-10}$ Erg. pro Sekunde). Der Hauptunterschied der Beobachtungsbedingungen ist ja nun der, dafs wir die günstigste Strahlung 507 $\mu\mu$ benutzten, während dort gemischtes Licht beobachtet und die Energie der ganzen sichtbaren Strahlung der Rechnung zugrunde gelegt wurde.

Die Bedeutung dieses Umstandes liefse sich zahlenmäfsig bewerten, wenn wir anzugeben in der Lage wären, wie grofse Bruchteile einerseits von dem Dämmerungswert, andererseits von dem Energiewert der sichtbaren Strahlung auf den von uns benutzten günstigsten Lichtbereich kommt, und zwar in dem Licht eben jener Sterne, auf die die Angaben Wiens sich beziehen. Da diese Strahlung des genaueren nicht bekannt ist, so ist dies nicht streng ausführbar. Immerhin ist es von Interesse, über die betreffenden Werte sich einigermafsen zu orientieren, was für Sonnenlicht auf Grund der Bestimmungen von Langley (hinsichtlich der Energie), von Schaternikoff (hinsichtlich des Dämmerungswertes) möglich ist. Nach einer approximativen Schätzung dürfte im Sonnenlicht etwa $^1/_{200}$ des Energiewertes und $^1/_{50}$ des Dämmerungswertes der ganzen sichtbaren Strahlung auf unseren Lichtbereich entfallen. Hiernach würde in der ganzen sichtbaren Strahlung des Sonnenlichtes auf gleichen Dämmerungswert ca. vierfach mehr Energie kommen, als in unserem grünen Lichte; und es liefs sich danach erwarten, dafs bei Benutzung unzerlegten Sonnenlichtes die eben sichtbaren Lichter in der ganzen sichtbaren Strahlung nur einen etwa vierfach gröfseren Energiebetrag besitzen werden als die gleichfalls an der Grenze der Sichtbarkeit stehenden, qualitativ günstigsten Lichter. Für

Licht von der Beschaffenheit des Gas- und des Hefnerlichts wird nun zwar dieser Wert jedenfalls höher sein, doch dürfte er, wie man schätzungsweise ermitteln kann, auch hier kaum über 25 hinausgehen. Hiernach darf man wohl sagen, dafs der Unterschied der hier erhaltenen und der von WIEN berechneten Werte nur zum Teil auf diesen Umstand zurückzuführen ist; auch abgesehen hiervon haben wir hier noch beträchtlich niedrigere Schwellenwerte erzielt. Man wird dies nicht gerade überraschend finden können; denn abgesehen von den hier ja recht erheblichen individuellen Verschiedenheiten sind wohl die hier eingehaltenen Versuchsbedingungen, die Beobachtung eines einzelnen, vom Beobachter in seiner Stärke zu regulierenden Objekts, wesentlich günstiger als sie für die Wahrnehmung einzelner sehr lichtschwacher und im allgemeinen von zahlreichen helleren umgebener Sterne bestehen.

(Eingegangen am 13. November 1906.)

Über eine interessante subjektive Gesichtsempfindung.

Von

Dr. med. W. Lohmann,

1. Assistenzarzt an der kgl. Universitäts-Augenklinik München.

Wenn ich morgens, oder besonders tagsüber, nachdem ich zuvor längere Zeit die Augen geschlossen hielt oder mich im dämmrigen bzw. dunklen Raum befand, mir ein Nachbild verschaffe, in dem nicht Einzelheiten der Formen und Farben störend wirken, so nehme ich folgendes wahr: inmitten des grauen Nachbildes tauchen kurze Zeit, nachdem ich das Auge schliefse oder mit der Hand beschatte, blitzartig, feine, scharf umrissene Pünktchen hervor, die, ebenso schnell wie sie kamen, nach kurzer Zeit in dem Nebel der Nachbilder wieder zerfliefsen. Diese Pünktchen sind in der Mitte, in der Ausdehnung von Fünfmarkstückgröfse bis doppelt so grofs, dicht gedrängt und stehen peripherwärts vereinzelter; sie erscheinen in einer Entfernung von beiläufig 2 m. Die Stelle, an welcher die Pünktchen dichter stehen, entspricht der Foveagegend, wie man sich durch häufige Wiederholung des Versuches und Vergleichung mit der Stelle des Fixierpunktes bei der Exposition des Auges überzeugen kann.

Das Auffallende an den Pünktchen nun ist vor allen Dingen, dafs sie eine verschiedene Färbung zeigen; und zwar erkenne ich deutlich 3, und nur 3 Farben: ein Grün, das zum Blauen übergeht, ein vielleicht etwas zum Purpur neigendes Rot und ein Gelb.

Ich betone, dafs es darauf ankommt, sich ein Nachbild zu verschaffen, in dem Form und Farbe nicht störend wirken. So habe ich es als das Zweckmäfsigste gefunden, wenn man durch das Fenster einen nicht auffallenden Punkt am grau bewölkten Himmel fixiert. Bei unbewölktem Himmel habe ich die Gesichtsempfindung bei mir gar nicht oder nur unvollkommen hervorrufen können. Offenbar stand hier wohl die Intensität des Nach-

bildes dem Hervortauchen der verschiedenfarbigen Punkte hindernd im Wege.

Ebenso bestimmt wie ich dieses Phänomen mitzuteilen vermag, ebensosehr möchte ich mir bezüglich seiner Deutung Reserve auferlegen. Wie sich aus der obigen Beschreibung ergibt, ist es zu naheliegend, es als eine entoptische Wahrnehmung anzusprechen. Vor allen Dingen spricht hierfür der Umstand, dafs die Pünktchen dicht an der Stelle des deutlichsten Sehens stehen, und peripherwärts, je mehr, um so weitere Zwischenräume aufweisen, genau wie wir diese Anordnung von den Zapfen in der Retina kennen. Die dreifache Färbung der Punkte würde für getrennt qualitativ spezifisch empfindende Elemente sprechen und dem in der Helmholtzschen Farbentheorie angenommenen Standpunkt dreier Einzelelemente des farbenempfindenden Apparates durchaus gemäfs sein, ja sogar ihn zu stützen vermögen. Ob und inwieweit die Farben, die ich empfinde (Rot, Blaugrün, Gelb), als Urempfindung der Elemente, oder als komplementäre Empfindungen derselben aufgefafst werden müfsten, und ob das physikalische reizende Lichtgemisch (Armut an violetten Strahlen bei bedecktem Himmel), ferner verschiedenes Abklingen der einzelnen Farben mit bei der Beurteilung in Rechnung zu ziehen wäre, soll als offene Frage nur angedeutet werden.

Es fragt sich jedoch vor allem, ob die Annahme denn überhaupt angängig ist, dafs die Empfindung jedes einzelnen Zapfens möglich sein könnte. Darauf ist zu antworten: Ebenso wie das körperliche Sehen ein intellektualer Akt ist, eine Zusammenfassung verschiedener Sinnesempfindungen, die zumeist dem Sehorgan entstammen, zu einer Anschauung, so kann man auch die qualitative Empfindung als eine Apprehension der Psyche auffassen. Sehen wir z. B. eine farbige Fläche an, so erscheint sie uns zusammenhängend farbig, ohne Unterbrechung, obschon die den Lichtreiz aufnehmenden Elemente räumlich getrennt sind. (Auch unser Auge ist, wenn man die perzipierenden Elemente ansieht, ein musivisches; wie es ja auch höchstwahrscheinlich ist, dafs die Sehschärfe, d. i. die Fähigkeit, zwei Punkte getrennt zu sehen, in ihrer Höchstleistung an die räumliche Entfernung der einzelnen Zapfenelemente gebunden ist.) Wird die gewohnte Sehweise unterbrochen, dann könnte die Möglichkeit der räumlich abgegrenzten qualitativen Empfindung des Auges in Frage kommen. Und so liefse sich die Deutung des oben mit-

geteilten Phänomens als entoptische Wahrnehmung der Zapfen rechtfertigen.

(Eingegangen am 10. November 1906.)

Nachschrift.

Nach Beendigung dieser Mitteilung und Ablieferung an Herrn Professor Dr. Nagel hatte dieser die Güte, mich darauf hinzuweisen, dafs von Herrn Professor Dr. Hess eine ganz ähnliche Gesichtsempfindung vor kurzem veröffentlicht worden sei. Herr Professor Dr. Hess sandte mir auf meine Anfrage in liebenswürdiger Weise seine betreffende Publikation, die ich übersehen hatte. Diese ist im 3. Heft des LVIII. Bandes des *Gräfeschen Archives für Ophthalmologie* erschienen unter dem Titel: „Über einen eigenartigen Erregungsvorgang im Sehorgan."

Hess beobachtet, wenn er die Lider in mäfsig hellem Zimmer für einige Minuten geschlossen hielt und dann das Auge $^1/_2$ bis 1 Sekunde gegen den gleichmäfsig grauen Himmel richtete, nach abermaligem Schlufs des Auges das Auftreten einer Gruppe von äufserst feinen, leuchtend hellen Punkten. Während diese zunächst an der Stelle des direkten Sehens wahrgenommenen Pünktchen nach dem Bruchteil einer Sekunde verschwinden, treten peripherwärts von ihnen in ihrer nächsten Nähe andere, meist eine Spur gröfsere und etwas heller erscheinende Punkte auf.

Was die Färbung anlangt, so hat Hess die Punkte meistens farblos gesehen, während er eine ungesättigte rötliche Färbung der Punkte erkennt, wenn er bei Tageslicht die Lider 10 Min. geschlossen hält und dann 1 Sek. lang gegen den blauen oder grauen Himmel schaut. Bei Anwendung gesättigter farbiger Reizlichter erscheinen Hess die Pünktchen stets nahezu farblos; niemals erscheinen sie in der Färbung des Reizlichtes, doch manchmal gegenfarbig; doch war die Färbung stets so ungesättigt, dafs eine ganz sichere Beurteilung nicht möglich war.

Im Gegensatz hierzu empfinde ich bei den leuchtenden Punkten stets sehr gesättigte Farben, und zwar immer nebeneinander drei. Ihre Sättigung ist bei mir so auffallend, dafs ich durch sie überhaupt erst auf diese Erscheinung aufmerksam wurde.

Ein weiterer Unterschied tritt bei meiner Empfindung gegenüber der Hessschen darin zutage, dafs ich alle gefärbten Pünktchen

auf einmal oder höchstens regellos zeitlich different sehe. An der Stelle des deutlichsten Sehens stehen die Pünktchen dichter und werden peripherwärts je mehr um so bedeutender vereinzelter.

Hess dagegen beobachtet ein scheinbares Fortschreiten, das eine gewisse Ähnlichkeit mit den durch die bekannten Feuerwerkskörper hervorgerufenen Bildern habe, bei welchen gleichfalls von einem Punkte aus nach allen Richtungen hin leuchtende Kugeln fahren, nur mit dem Unterschiede, dafs die leuchtenden Punkte an Ort und Stelle bleiben und zeitlich different perzipiert werden.

Auch Hess hält sein Phänomen nicht für ein gewöhnliches Nachbild und spricht, natürlich mit grofser Reserve, die Vermutung aus, dafs die Erregungsvorgänge irgendwie zu einer Zapfenerregung in Beziehung stünden.

Obschon eine grofse Übereinstimmung des Hessschen Phänomens und meines oben mitgeteilten besteht, so meine ich doch, dafs dieses letztere, namentlich wegen der bei mir mit der Gesichtsempfindung verknüpften Farbenempfindungen, auch noch einiges Interesse zu erregen vermag.

(Aus der physikalischen Abteilung des physiologischen Instituts in Berlin.)

Einige Bemerkungen über die Wirkung von Santonin auf die Farbenempfindungen.

Von

C. L. VAUGHAN,
Volontärassistent am Institut.

Während des Sommersemesters 1906 machte ich auf Veranlassung und unter der Leitung von Herrn Professor NAGEL Versuche mit Santonin, welche den Zweck hatten, über einige streitige Punkte Aufklärung zu schaffen. Solange verschiedene Beobachter in bezug auf Tatsachen zu verschiedenen Resultaten kommen, ist es ja natürlich ausgeschlossen, eine befriedigende Hypothese über die Art und Weise aufzustellen, in welcher das Santonin auf die Sehorgane wirkt.

Mein Farbensinn ist, soweit bis jetzt festgestellt worden ist, in jeder Hinsicht normal. Ich experimentierte mit 3 verschiedenen Santoninpräparaten. Aus der Apotheke bezogenes Santonin in der Dosis von 0,05 g bewirkt bei mir überhaupt keine merkbaren Erscheinungen, ebenso blieb ein MERCKsches Präparat von Natrium santonicum in der Dosis von 0,5—0,7 g bei Herrn Prof. NAGEL und Herrn Dr. ANGIER ohne deutliche Wirkung. Dagegen wirkte ein älteres, früher von Prof. NAGEL aus einer Apotheke bezogenes und als wirksam befundenes Präparat bei Prof. NAGEL wie bei mir prompt. Allerdings brauche ich im allgemeinen etwa die doppelte Dosis (1 g), um gleich starke Wirkung wie Prof. NAGEL zu erhalten.

Die Versuche wurden gewöhnlich vormittags ungefähr eine Stunde nach einem leichten Frühstück von Kaffee und Brötchen angestellt. Die folgenden (im allgemeinen den bisher beschriebenen

entsprechenden) Erscheinungen traten etwa 15—30 Min., nachdem ich das Nat. sant. eingenommen hatte, auf. Unter den gedruckten Buchstaben einer Zeitung erschien auf Augenblicke eine violette Farbe, besonders wenn der eine etwas schwärzer war als seine Nachbarn oder wenn ein Schatten darauf fiel. Im Anfange ist diese Erscheinung sehr schwankend, ein Buchstabe kann violett erscheinen und wenn man den Blick darauf richtet, sieht er im nächsten Moment wieder schwarz aus.

Allmählich hält die violette Farbe länger an und beim Umherblicken im Zimmer bemerkt man in den dunkleren Ecken violette Schatten, die bei direkter Fixierung verschwinden.

Bis zu diesem Stadium konnte ich auch nicht die leiseste Veränderung entdecken in der Erscheinung der Aufsenwelt, soweit man sie aus dem Fenster erblickt, d. h. kein Anzeichen von Vorhandensein von „Gelbsehen“ in diesem Anfangsstadium. Allerdings ist es auch sehr schwer festzustellen, wann die Gesamtheit der hellen Flächen um uns beginnt, einen Stich ins gelbliche zu bekommen, wenn die Veränderung so langsam, im Laufe von Minuten vor sich geht, wie bei einer mäfsigen Santoninvergiftung. Jedenfalls bemerke ich ebenso wie Prof. Nagel das Gelbsehen merklich später als das Violettsehen.

Etwa 10—20 Min. nachdem das Violettsehen bemerkbar wird, scheint es mir draufsen etwas heller zu werden als gewöhnlich und die Gegenstände nehmen ein etwas unnatürliches Aussehen an, sehr ähnlich dem bei einer partiellen Sonnenfinsternis. Nach wenigen Minuten wechselt die Erscheinung schnell, der Himmel und die äufseren Gegenstände werden hell und alles, was sonst weifs ist, erhält die sonderbare grünlich-gelbe Färbung, der dieses Stadium der Vergiftung seinen Namen des „Gelbsehens“ verdankt.

Auch innerhalb des Zimmers erscheinen hellfarbige Gegenstände gelblich und dunkle, besonders solche in tiefem Schatten, violett. Durch die Fenster scheint gelbes Licht hereinzustrahlen.

Wenn das Zimmer verdunkelt und das Gas angezündet wird, so erscheinen die Züge derjenigen Personen, deren Gesicht beleuchtet wird, in ein tiefes Violett getaucht. Dunkelviolettes Papier erscheint schwarz.

Dies waren die auffallendsten Veränderungen, die wahrgenommen werden konnten. Das Stadium des Gelbsehens dauerte, allmählich schwächer werdend, gewöhnlich bis zum Abend. Am folgenden Morgen erschienen die Gesichtsempfindungen voll-

ständig normal. Ich hatte keine Geruchshalluzinationen aber stets eine unangenehme Geschmacksempfindung, welche einige Male zu Erbrechen führte. Nur einmal fiel mir ein heftiges Kribbeln in den Fingerspitzen auf. Bei dieser Gelegenheit entwickelten sich die Störungen sehr schnell und heftig und es kam zu Erbrechen.

Es schien mir, als ob dieselbe Dosis bei den späteren Versuchen immer stärker wirkte. Dies steht im Widerspruch mit der Ansicht von Arthur König[1], der den Eindruck bekam, dafs das Nervensystem sich an das Gift gewöhnt und so bis zu einem gewissen Grade immun wird. Prof. Nagel teilt mir mit, dafs er bei seinen zahlreichen Versuchen mit Santonin im allgemeinen auch eher eine Gewöhnung beobachtete, eine Steigerung der Wirkung nur dann, wenn die einzelnen Versuche sich schnell folgten, also mehrere Tage hintereinander oder gar mehrere am gleichen Tage.

Da begreiflicherweise nicht lange Zeit hindurch mit diesen Vergiftungen experimentiert werden kann, zog ich von den verschiedenen an die Santoninwirkung sich knüpfenden Fragen nur die folgenden in den Kreis meiner Betrachtung: 1. Das Aussehen des Spektrums; 2. Das Verhalten von Fovea und Peripherie, insbesondere Sivèns Angabe, dafs die Fovea bei dem Gelbsehen unbeteiligt sei; 3. Die Wirkung der Santoninvergiftung auf den Dunkeladaptations-Vorgang.

1. Aussehen des Spektrums.

Ich beobachtete das Aussehen der Spektralfarben am objektiven wie am subjektiven Spektrum. Ersteres wurde in bekannter Weise mit einer Bogenlampe als Lichtquelle erzeugt und entweder auf einem weifsen Schirm im ganzen aufgefangen, oder es wurden nur schmale weifse Papierstreifen verwendet, die einzelne Strahlenarten abfingen und so den betreffenden Teil des Spektrums isoliert zu sehen gestatteten.

Für die Beobachtungen am subjektiven Spektrum diente der Helmholtzsche Farbenmischapparat, da es im wesentlichen auf die Vergleichung zweier isoliert aus dem Spektrum herausgeschnittener Lichter, oder auf Mischungsgleichungen ankam.

Stets führte ich die Beobachtungen, die nachher im Stadium

[1] Arthur König: *Zentralblatt für praktische Augenheilkunde.* 1888. Dezemberheft.

der Santoninwirkung gemacht werden sollen, auch kurz vor dem Einnehmen der Substanz aus, um einen Vergleich zu haben. Aufserdem waren immer eine oder zwei Vergleichspersonen bei den Versuchen anwesend, die die Beobachtungen ebenfalls ausführten.

Im Stadium des Violettsehens konnte ich keine Veränderung am Spektrum bemerken, insbesondere keine Verlängerung am violetten Ende. Wir sorgten bei unseren Versuchen dafür, dafs die Versuchsperson, die Santonin genommen hatte, sich während der ersten Zeit im hellen Zimmer aufhielt und nur zur Beobachtung des Spektrums auf kurze Zeit das Dunkelzimmer betrat. Das ist deshalb wichtig, weil bei etwas längerem Aufenthalt im Dunkeln die Dunkeladaptation das Spektrum am violetten Ende wesentlich verlängert erscheinen läfst. Nichtbeachtung dieses Umstandes könnte vielleicht früheren Beobachtern eine durch Santonin bewirkte „Verlängerung" vorgetäuscht haben.

Deutliche Veränderungen im Aussehen des Spektrums treten auf, wenn sich das Gelbsehen kräftig entwickelt hat. Die auffälligste Änderung ist die im Violett. Dieses verblafst und verliert schliefslich seine Farbigkeit beinahe vollständig; man sieht an seiner Stelle ein bläuliches Grau, das allerdings, soweit sich das vergleichen läfst, etwas dunkler erscheint als das Violett im normalen Spektrum (vergl. unten die Beobachtungen mit Farbengleichungen am Helmholtzschen Apparat). Zu einem Verschwinden des vorher violett gewesenen Teiles sah es weder ich noch Prof. Nagel jemals kommen. (Auch hierbei wurde dafür gesorgt, dafs eine ziemlich gute Helladaptation beibehalten wurde.)

Wenn man also von „Verkürzung des Spektrums am violetten Ende" spricht, so würde das nach unseren Beobachtungen nur in dem Sinne zutreffend sein, dafs der lebhaft farbige Teil des Spektrums kürzer wird, nicht aber dessen absolute Länge.

Bei der Betrachtung des objektiven Spektrums unter den angegebenen Umständen beschränkt sich nun übrigens die Veränderung keineswegs auf das Violett. Das Blau erscheint ebenfalls abgeblafst, doch immer noch deutlich farbig. Die Grenze zwischen Grün und Blau (die sich freilich nur sehr unbestimmt angeben läfst) ist gegen das Rot zu verschoben. Ein vorher blaugrünes Licht erscheint nun rein grün.

Aber auch das Grün, welches sichtbar bleibt, ist affiziert,

denn wenn ich es einen Augenblick fixierte, verwandelte es sich in Blau. Wenn ich das Auge ganz langsam über den grünen Teil des Spektrums wandern lasse, so wird diese Erscheinung sehr auffallend, da die grüne Farbe zu fliehen scheint und blau hinterläſst, sowie der Blick auf sie fällt.

Am roten Ende des Spektrums findet ebenfalls eine Veränderung statt. Das Spektrum erscheint nicht verkürzt, aber das äuſsere Rot erscheint in einer Farbe zwischen Purpur und Violett gefärbt. So haben wir die sonderbare Tatsache, daſs wir im vergifteten Zustand das Violett nicht da sehen, wo es normalerweise ist, sondern dort, wo für das normale Sehen kein Violett vorhanden ist. Das Purpurviolett am roten Ende umgreift auch noch die ganze Endpartie des Spektrums, etwa bis zum Gelb hin, so daſs das Spektrum hier purpurn umsäumt erscheint.

Im Helmholtzschen Apparat, wo nur ein kleines Feld sichtbar ist, erscheinen alle Farben vom grünlichen Blau bis zum Violett (inklusive) in einem bläulichen Schatten; reines Grün erscheint zuerst als solches und verblaſst dann rasch zu einem bläulichen Grau mit gelegentlichem grünen Schimmer, der, wie ich vermute, von unwillkürlichen Augenbewegungen herrührt, die neue Teile der Retina mit ins Spiel bringen.

Um die Wirkung des Santonin auf das violette Ende noch etwas genauer zu prüfen, stellten wir am Farbenmischapparat heterochrome Helligkeitsgleichungen zwischen Blau und Violett ein, und zwar eine Reihe vor und eine zweite Reihe nach dem Einnehmen des Giftes.

Die folgenden Tabellen geben den Vergleich der Einstellungen vor und nach Einnahme von Santonin. Die Helligkeit des Blau wurde unverändert gelassen, die des Violett jedesmal neu eingestellt. Die Zahlen geben also die Spaltweite bei dem Violett an.

Ein anderer Versuch, bei dem ich nur zu schwachem Gelbsehen kam, ergab ebenfalls im vergifteten Zustand höhere Werte wie im normalen, doch war der Unterschied nicht so groſs, wie in dem angeführten Beispiel. Die Zahlen bringen eine relative Verdunklung des Violett zum Ausdruck, die sich bei der Beobachtung am objektiven projizierten Spektrum nicht so deutlich erkennen läſst.

So interessant es gewesen wäre, gerade dieser Erscheinung noch mehr nachzugehen, so glaubte ich doch darauf verzichten zu sollen, da die allgemeinen Wirkungen des Santonin, namentlich

die Wirkungen auf den Magen zu ungünstig waren, als dafs häufige Wiederholung der Experimente angezeigt geschienen hätte.

Tabelle 1. Vor Einnahme des Natrium santonicum	Tabelle 2. Nach Einnahme des Natrium santonicum
145	240
136	235
140	218
133	215
150	191
133	240
140	192
152	203
135	201
140	194
Mittel 140,4	Mittel 212,9
mittlere Abweichung 4,36	mittlere Abweichung 16,7

Ich gebe daher die obenstehenden Zahlen auch nur mit allem Vorbehalt hinsichtlich ihrer Deutung.

---

2. Sivèn und v. Wendt berichten über die Ergebnisse ihrer Santoninversuche u. a. folgendes.[1] „Fixiert man eine gröfsere Fläche bei vollem Tageslichte, so ist die zentrale fixierte Stelle vollständig weifs, mehr peripher hingegen schimmert die weifse Fläche in Gelb. Dieser bemerkenswerte Umstand wird auf folgende Weise noch besser festgestellt. Zwei kleine weifse Papierstückchen werden in einer Entfernung von 15 bis 20 cm voneinander plaziert, das eine wird in einer Entfernung von 30 bis 40 cm mit dem Auge fixiert; man bemerkt dann, dafs dieses rein weifs leuchtet, das andere hingegen gelb. Dieses deutet darauf, dafs nicht der zentrale Teil der Retina (die Macula) das Gelbsehen perzipiert, sondern der periphere Teil derselben." Weil Sivèn diese Beobachtung als Stütze benutzt für eine neue Theorie, die unvereinbar ist mit der „Duplizitätstheorie" von v. Kries, und aufserdem mit den früheren Befunden von Prof. Nagel, so unternahm ich eine Nachprüfung der Sivènschen Versuche. Ich schnitt 5 runde Stückchen weifsen Papiers

[1] *Skand. Arch. f. Physiol.* **14**, 1903.

aus von 3 cm Durchmesser und befestigte sie auf einem schwarzangestrichenen Brett, eins in der Mitte und die anderen 4 in einer Entfernung von 18 cm darüber, darunter, rechts und links. Beim nächsten Santoninversuch fixierte ich dann im Stadium des Gelbsehens den mittleren Punkt und beobachtete seine Farbe in verschiedenen Entfernungen. Aus der Nähe erschien der mittlere Punkt gelb wie die anderen, aber in einer geeigneten Entfernung verlor er seine Farbe und erschien weifs, während die Punkte, die indirekt gesehen wurden, ihr vorheriges Aussehen beibehielten.

Bei einem Beobachtungsabstand von 185 cm konnte ich sagen, dafs der mittlere Punkt weifs erschien und die anderen gelb, während ich bei 170 cm noch einen Schimmer von gelb in dem fixierten Punkt wahrnehmen konnte. Dies ist im wesentlichen eine Bestätigung der Sivénschen Angabe.

Herr Prof. Nagel hatte früher ausgeprägtes Gelbsehen auch an nur foveal sichtbaren Objekten konstatiert und auch der mit ihm beobachtende normale Trichromat Dr. Piper kam zu dem gleichen Ergebnis. Nagel und Piper hatten die Gelbfärbung besonders stark beim Betrachten von brennenden Gaslaternen beobachtet. Der Widerspruch zwischen ihrem und dem Sivénschen Befunde konnte in der verschiedenen Reizintensität begründet sein. Ich unternahm daher auf den Rat Prof. Nagels systematische Versuche in dieser Richtung, bei denen ein und dasselbe Objekt mit stark wechselnden Lichtintensitäten beleuchtet wurde.

Auf schwarzem Sammet wurden wiederum 5 weifse Papierstückchen befestigt und eine Projektionsbogenlampe so aufgestellt, dafs sie die Papierstücke glänzend hell oder nach Belieben schwach beleuchten konnte.

Es zeigte sich, dafs bei ziemlich schwacher Beleuchtung dasselbe Ergebnis wie oben bei den Versuchen mit Tageslicht erhalten wurde, d. h. der mittlere Fleck konnte weifs gesehen werden. Wenn jetzt unter Beibehaltung des gleichen Beobachtungsabstandes die Helligkeit gesteigert wurde, so bekam auch das Mittelfeld einen gelben Schein und bei grofser Intensität erschien es gerade so gelb wie die übrigen Felder.

Der tatsächliche Widerspruch zwischen den Angaben von Sivén und Nagel ist somit aufgeklärt, er beruhte auf den ver-

schiedenen Beobachtungsbedingungen in den Versuchen der beiden Autoren.

Mit der Tatsache aber, dafs ein Gelbsehen in der Fovea bei Santoninvergiftung unter geeigneten Umständen überhaupt zu beobachten ist, entfällt die Möglichkeit, aus dem Santoninversuch eine Stütze für SIVÈNS Theorie zu gewinnen, nach der Violettempfindung durch die Stäbchen vermittelt würde und das Gelbsehen im Santoninrausch auf Beeinflussung gerade der Stäbchen und des Sehpurpurs zusammenhängen soll.

Auch die Beobachtungen an Spektralfarben stützen, wie hier bemerkt werden möge, die KÖNIGsche, jetzt von SIVÈN wieder aufgenommene Theorie keineswegs. Will man die durch Santonin bewirkte Anomalie des Farbensinnes als Violettblindheit bezeichnen, so mufs man sich doch darüber klar sein, dafs es sich um eine Reduktionsform des normalen trichromatischen Systems, analog dem protanopischen oder deuteranopischen System, also ein tritanopisches System, ganz bestimmt nicht handeln kann. Sowohl die ältere Beobachtung wie auch meine oben mitgeteilten Ergebnisse lassen in dieser Hinsicht keinen Zweifel aufkommen.

---

3. Was den dritten Punkt betrifft, auf den sich meine Experimente bezogen, die etwaige Beeinflussung der Dunkeladaptation durch Santoninvergiftung, so konnte ich hier durchaus Prof. NAGELS frühere Beobachtung bestätigen, dafs eine irgendwie wesentliche Beeinträchtigung des Adaptationsprozesses nicht eintritt. Allerdings fand ich es schwerer, im Santoninrausch die Beobachtung hinreichend genau zu machen. Die Schwankungen des Eigenlichtes, die über das Gesichtsfeld hinziehenden Lichtnebel, sind entschieden deutlicher und störender als in der Norm. Zeitweise ist man aufserstande, zu sagen, ob das Adaptometerfeld sichtbar ist oder nicht. Bei wiederholten Bestimmungen sind auch die Werte recht schwankend.

Benützt man aber einen von subjektiven Lichtnebeln gerade freien Augenblick zur Beobachtung und Messung des Empfindlichkeitsgrades, so erhält man durchaus normale Werte. Nimmt man eine vollständige Kurve des Adaptationsanstieges auf, so fällt sie unregelmäfsiger aus als in der Norm. Der nach einer Stunde erreichte Endwert aber ist normal.

Auch bei diesen Versuchen gewann ich den Eindruck, dafs die Ermüdung des Auges im Santoninrausch wesentlich schneller als normal eintritt; man sieht das Adaptometerfeld unter Umständen für einen Augenblick, es entschwindet jedoch dem Blick alsbald wieder.

Herr Prof. Nagel hat die von mir oben beschriebenen Versuche auch ausgeführt (nach jedesmaliger Einnahme von 0,5 g Natr. santonicum). Seine Angaben stimmen mit den meinigen im wesentlichen überein, soweit das zwischen einem Dichromaten und einem Trichromaten möglich ist. Das Spektrum verblafste für ihn ebenfalls sehr bedeutend, namentlich wenn es aus mehreren Metern Abstand gesehen wurde. Das äufserste rote Ende erschien dann blau (entsprechend meinem Purpur-Violett), aus geringerer Distanz gesehen purpurn. Das innere Rot, Orange und Gelb schienen ihr normales Aussehen zu behalten. Von Verlängerung oder Verkürzung des Spektrums war nichts zu bemerken.

Orangefarbenes Papier sah im Halbdunkel rosa aus (wie es Sivèn und v. Wendt beschrieben hatten).

An den 5 weifsen Flecken auf schwarzem Grunde fand Prof. N. bei gedämpftem Tageslicht den direkt fixierten deutlich blasser als die übrigen, bei starker Beleuchtung aber kräftig gelb. Weifs erschien er mir. Vielleicht hängt dies mit der erhöhten Unterschiedsempfindlichkeit der Dichromaten für die schwächsten gelblichen und bläulichen Töne zusammen.

Bezüglich der Dunkeladaptation gilt dasselbe wie für mich.

(Eingegangen am 15. November 1906.)

Über Einrichtungen zur subjektiven Demonstration der verschiedenen Fälle der durch das beidäugige Sehen vermittelten Raumanschauung.

Von

M. von Rohr in Jena.

In der ersten Novembersitzung des Jahres 1906 wurde der Münchener Akademie durch Herrn S. Finsterwalder eine Arbeit des Verf.s[1] vorgelegt, die sich damit beschäftigt, die Möglichkeiten der Raumanschauung abzuleiten und zu ordnen, die das Sehen mit beiden Augen vermittelt.

Die Ableitung geschah auf Grund einer eingehenden Behandlung der Strahlenbegrenzung im Objektraume, und das Demonstrationsmaterial wurde in einer Reihe von Stereogrammen beigebracht, die, neun an der Zahl, einen jeden der neun Hauptfälle veranschaulichten. Es ist indessen gerade so gut möglich, die Demonstration an Instrumenten zur subjektiven Beobachtung zu leisten, und es hat den Anschein, als ob diese Methode der Vorführung in manchen Fällen sogar Vorteile biete. Auf Wunsch des Herausgebers *dieser Zeitschrift* sollen nunmehr einige zweckmäſsige, teilweise auch neue, Einrichtungen solcher Art behandelt werden.

Auch im folgenden soll der Standpunkt des Optikers Geltung haben, wonach ausschlieſslich die geometrischen Beziehungen für die Strahlen abzuleiten sind, die von den Objektpunkten ausgehen und schlieſslich in den Sehapparat des Beobachters ein-

---

[1] M. von Rohr, Die beim beidäugigen Sehen durch optische Instrumente möglichen Formen der Raumanschauung. (Eingel. am 3. November 1906.) Münch. Sitzungsber. 1906. **36**, 487—506.

treten. Eine solche Untersuchung kann selbstverständlich als Ergebnis nur Aussagen darüber liefern, ob nach dem Durchtritt der Strahlen durch ein optisches Instrument dieselben oder in gewisser Weise veränderte geometrische Beziehungen herrschen wie beim freien Sehen. Es bleibt aufserhalb des Bereichs dieser Arbeit, oder kann in ihr höchstens gestreift werden, ob die Raumauffassung auch den geometrischen Bedingungen entspricht: hier setzt die Arbeit des Physiologen und Psychologen ein. Man wird aber doch wohl im Sinne einer exakten Fassung der Versuchsbedingungen die hier durchgeführte Behandlung der Aufgabe als eine nicht unnötige Vorarbeit zulassen können.

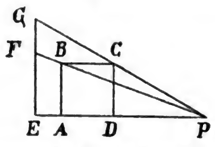
Zurückgreifend auf die eben erwähnte Arbeit, wo auch die Beweise gegeben worden sind, sei zunächst hervorgehoben, dafs man die beiden Bedingungen, die beim natürlichen Sehen gegeben sind, vom Standpunkte der Strahlenbegrenzung trennen kann in die des einäugigen und in die des beidäugigen Sehens.

Es mag hier eingeschoben werden, dafs das direkte Sehen mit einem Auge — wenn man einmal von dem hier nicht weiter wichtigen Akkommodationsvermögen des Menschenauges absieht — dadurch charakterisiert ist, dafs der dreidimensionalen Ausdehnung der räumlichen Objekte eine zweifache Mannigfaltigkeit eindeutig zugeordnet wird, und zwar geschieht das mit Hilfe der Zentralprojektion vom Drehungszentrum aus. Man ist schon sehr früh darauf gekommen, diese, dem Einzelauge allein zugängliche Mannigfaltigkeit darzustellen auf dem zweifach ausgedehnten Raume einer Zeichenebene. Diese Form der Darstellung, die ebene Perspektive, ist zwar, wie jede andere, willkürlich, aber sehr anschaulich und technisch einfach, weshalb sie fast ausschliefslich im Gebrauch ist. Hier soll stets die ebene Perspektive eines Raumobjektes dadurch entstanden gedacht werden, dafs man auf einer vom Augendrehungspunkte ausgehenden bevorzugten „Hauptsehrichtung“ in einem in ihr liegenden Objektpunkt eine senkrechte Ebene errichtet und vom Augendrehungspunkte aus alle Objektpunkte darauf durch geradlinige Strahlen projiziert, so das objektseitige Abbild im direkten Sehen bildend.

Dies vorausgeschickt sei in Übereinstimmung mit der angeführten Arbeit unter der Bedingung des natürlichen einäugigen Sehens die Notwendigkeit verstanden, dafs das perspektivische Zentrum beim Sehen mit unbewaffnetem Auge stets in der Licht-

richtung hinter[1] dem Objekt liegt und zwar in endlicher Entfernung von ihm anzunehmen ist (es herrscht entozentrischer Strahlengang). Die Bedingung des beidäugigen Sehens war als

Fig. 1.



Ein Schema für den entozentrischen Strahlengang. Dem Beobachter nähere Maſseinheiten erscheinen in der Perspektive gröſser als fernere. $EG > EF$.

die Notwendigkeit erkannt worden, daſs die Nasenseiten der beiden Augen stets einander zu-, ihre Schläfenseiten stets voneinander abgekehrt seien. (Es besteht die orthopische Augenstellung.)

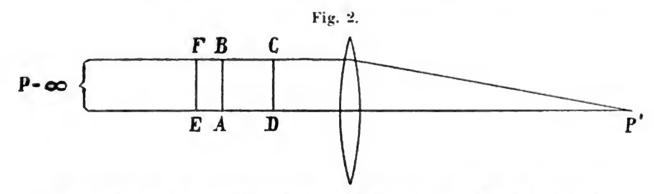
Die Verwendung optischer Instrumente bietet nun die Möglichkeit, sich von der Einhaltung jener beiden Bedingungen des natürlichen Sehens frei zu machen.

Am einfachsten zu übersehen ist die Aufhebung der Bedingung des einäugigen Sehens; hier kann man durch die Anwendung von sammelnden Linsensystemen, in deren Bildraum das Auge gebracht wird, dem perspektivischen Zentrum eine beliebige Lage zum Objekt erteilen, denn es leuchtet ein, daſs im Objektraume die Strahlen nach dem vom Linsensystem entworfenen Augenbilde (dem Objektauge) zielen müssen, wenn sie nach dem Durchtritt in das Auge selbst gelangen sollen.

Als einfachster und lange bekannter Fall ergibt sich die Abbildung des Projektionszentrums im Unendlichen, wenn nämlich das Auge (genauer sein Drehungszentrum) in die hintere Brennebene des Systems gebracht wird. Es treten dann aus der Vorderfläche parallele Strahlenbüschel aus, die eine Art der Perspektive hervorbringen, die unter dem Namen Parallelprojektion bekannt geworden ist. E. Abbe, der sich bei den

[1] Es mag noch besonders hervorgehoben werden, daſs dieser in der Optik übliche, recht zweckmäſsige Gebrauch von Ausdrücken wie vor und hinter von dem gewöhnlichen abweicht, wo man sie wohl immer auf den Beobachter bezieht.

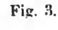
Fig. 2.

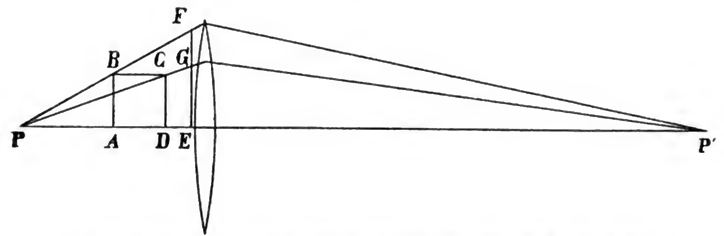


Ein Schema für den telezentrischen Strahlengang. Dem Beobachter nähere Maſseinheiten erscheinen ebensogroſs wie fernere.

optischen Instrumenten als erster bewuſst mit diesen Verhältnissen beschäftigt hat, führte für eine derartige Strahlenbegrenzung den Ausdruck telezentrischer Strahlengang ein.

Man kann indessen noch weiter gehen und das Zentrum der Perspektive scheinbar vor das Raumobjekt fallen lassen, wie es die nebenstehende Figur zeigt, indem man von einem geeigneten Objekt ein virtuelles Bild erzeugt und das Auge hinter





Ein Schema für den hyperzentrischen Strahlengang. Dem Beobachter nähere Maſseinheiten erscheinen kleiner als fernere. $EG < EF$.

den bildseitigen Brennpunkt bringt. Für eine solche Strahlenbegrenzung hat der Verfasser den Namen hyperzentrischer Strahlengang eingeführt.

Es liegt natürlich nichts im Wege, diese Erscheinungen an einem geeigneten Raumobjekt auch zur beidäugigen Beobachtung zu bringen, nur muſs man die in den beiden letzten Fällen anzuwendenden Linsen genügend groſs wählen. Ein jedes der beiden Augen wird dann entweder mit ento- oder mit tele- oder

mit hyperzentrischem Strahlengange benutzt, und das durch die Schnittpunkte je eines rechten und eines entsprechenden linken Strahls entstehende Raumbild läfst die Natur der an seinem Zustandekommen beteiligten Perspektiven erkennen. Im Falle der telezentrischen Perspektive nehmen bei einem Skelett eines Parallelepipedons die Höhen weiter entfernter Kanten nicht ab, und dem beidäugigen Beobachter scheinen die ferneren Teile ein wenig an Gröfse zuzunehmen. Bei der hyperzentrischen Perspektive bieten sie sich erst recht in ungewohnter Weise, nämlich unter tatsächlich gröfseren Winkeln dar, und das Raumbild nimmt etwa die Form einer abgestumpften Pyramide an.

Wurde bisher stillschweigend an der natürlichen Lage der Augen, der orthopischen Augenstellung, festgehalten, also die Bedingung des beidäugigen natürlichen Sehens als bestehend vorausgesetzt, so kommt es nun darauf an, Abweichungen von dieser hervorzubringen.

Es ist ein in der zitierten Arbeit besonders betonter Umstand, dafs kein einheitlich wirkendes optisches System eine Änderung der natürlichen Lage der beiden Augen zueinander hervorbringen kann. Gewifs kann man sie umkehren oder spiegelverkehrt abbilden oder schliefslich beides vereinen, aber man ist mit einem einheitlich wirkenden optischen System nicht imstande, etwa die Schläfenseiten der beiden Augen einander zu- und ihre Nasenseiten voneinander abzukehren.

Kein einheitlich wirkendes System vermag das, wohl aber können es zwei für jedes Auge gesondert wirkende optische Einrichtungen, oder schliefslich ein Instrument, bei dem eine Diskontinuitätsstelle eingeführt wurde, um jedes Strahlenbüschel physikalisch oder geometrisch in zwei Teile zu spalten und diese Teile den beiden Einzelaugen gesondert zuzuführen.

Für die hier in Betracht kommenden Demonstrationsinstrumente zur Änderung der zweiten Bedingung wird zweckmäfsig von der Linsenwirkung ganz abzusehen sein, so dafs von optischen Mitteln nur die (meistens spiegelnde) Wirkung ebener Flächen vorkommt.

Die nächstliegende Möglichkeit, von der natürlichen Augenstellung abzuweichen, besteht in der eben erwähnten Vertauschung der in der natürlichen Lage benachbarten mit den abgekehrten Seiten, so dafs in der chiastopischen Stellung der Objektaugen die Schläfenseiten einander zu-, die Nasenseiten voneinander ab-

gekehrt sind. In der eingangs zitierten Arbeit ist der Nachweis geführt worden, dafs eine solche Vertauschung zur Folge hat eine Veränderung der Tiefenfolge in dem Raumbilde, wie sie zuerst durch Ch. Wheatstone[1] bekannt geworden ist. In der chiastopischen Stellung der Objektaugen mufs man von dem hier vertretenen Standpunkte der Strahlenbegrenzung den eigentlichen Grund der Pseudoskopie sehen, und es zeigt sich dementsprechend, dafs alle die mannigfachen, im Laufe der Zeit vorgeschlagenen pseudoskopischen Instrumente und Anordnungen eine chiastopische Stellung der Objektaugen herbeiführen.

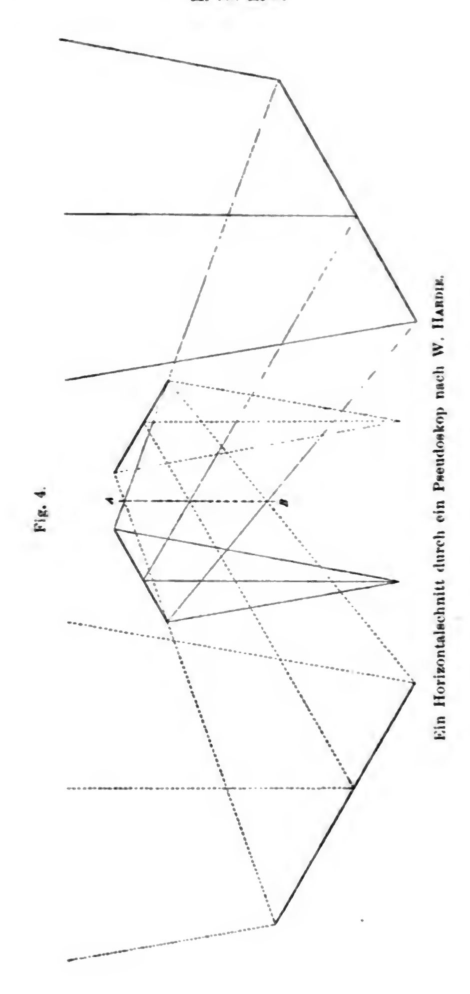
Hier mufs namentlich des Wheatstoneschen, aus zwei Amicischen Reflexionsprismen gebildeten Pseudoskops gedacht werden, das für einzelne Versuche, so z. B. solche mit Linsen von mäfsigem Durchmesser, darum den Vorzug vor dem sogleich zu beschreibenden verdient, weil es die Objektaugen nicht wesentlich auseinanderrückt. Es hat allerdings wegen der einfachen Spiegelung, die in ihm vorkommt, den Nachteil, dafs in manchen Fällen — z. B. wo die Richtung der Beleuchtung eine Rolle spielt — wegen der Spiegelung leicht auch schon im Einzelauge die Umkehrung des Reliefs eintritt, so dafs der richtige Gebrauch des Instruments nicht von jedem Beobachter mit völliger Sicherheit festgestellt werden kann.

Wo die gröfsere Trennung der Objektaugen keinen Anlafs zu Bedenken gibt, kann ein Pseudoskop angewandt werden, das fast auf ein ebenso hohes Alter zurücksieht wie das Wheatstonesche, aber unverdienterweise fast ganz unbekannt geblieben ist. Es wurde 1853 von W. Hardie, einem Edinburgher Amateur, veröffentlicht. Wie man sieht, steht es den Telestereoskopen sehr nahe, und tatsächlich ist der Autor auch von einer solchen Konstruktion ausgegangen. Hier bleibt der Eindruck des in seinem Relief umzukehrenden Objekts auf das Einzelauge im wesentlichen ungeändert, da sich die beiden Spiegelungen aufheben und das Projektionszentrum nur verlagert wird (um einen geringen Betrag nach hinten und nach der Seite). Wie man aus der für diese Arbeit neu angefertigten Zeichnung

---

[1] Die ältere Literatur ist hier nicht zitiert worden. Eine solche, doch nur lückenhaft mögliche Aufführung unterblieb deshalb, weil der Verf. noch im Jahre 1907 eine ausführliche historisch-theoretische Monographie der binokularen Instrumente zu veröffentlichen gedenkt.

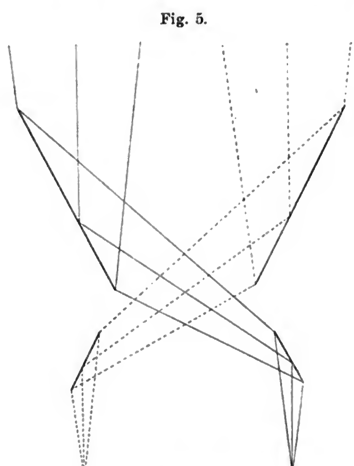
Fig. 4.



Ein Horizontalschnitt durch ein Pseudoskop nach W. Hardie.

ersieht, erlaubt ein solches Instrument nicht wesentlich über einen Gesichtswinkel $2w = 20^0$ hinauszugehen, weil sonst der Kopf des Beobachters abblendend wirkt. Die chiastopische Stellung der Objektaugen wird durch ihre Verlagerung bewirkt. Auf den gleichfalls von W. Hardie gemachten Vorschlag, das Instrument durch einen in die Medianebene gebrachten Doppelspiegel AB zu ergänzen, sei nur eben hingewiesen. Die chiastopische Stellung der Objektaugen tritt dann nicht durch die Seitenverlagerung ein, sondern ganz wie beim Wheatstoneschen Instrument durch eine einfache Spiegelverkehrung jedes Einzelauges.

Fig. 5.



Ein Horizontalschnitt durch ein Pseudoskop ohne Gröfsenänderung des Augenabstandes.

Wie die Figur zeigt, ist es auch möglich, ein dem Hardieschen verwandtes Pseudoskop zu konstruieren, bei dem trotz der doppelten Spiegelung die Augendrehungspunkte ihren natürlichen Abstand behalten. Leider ist das Gesichtsfeld dieser Anordnung sehr beschränkt.

Dafs sich nicht alle Objekte für die pseudoskopische Be-

obachtung eignen, ist schon häufig, namentlich auch von CH. WHEATSTONE selbst, hervorgehoben worden. Sehr zweckmäfsig erscheinen für Versuche rechteckige Blätter weifsen Papiers, deren Ebene mit der Horizontalen einen merklichen Winkel bildet. Die Form und die Wendung des „Trugblattes“, um mit Herrn L. BURMESTER[1] zu sprechen, kommt sehr deutlich zur Anschauung. Damit nahe verwandt ist der folgende einfache Versuch. Bei einem gewöhnlichen runden Kleider- und Hutständer aus Holz oder Metall pflegen die obersten, für die Hüte bestimmten Knöpfe auf der Peripherie eines Kreises zu liegen, dessen Ebene auf den ersten Blick als horizontal empfunden wird. Betrachtet man aber diese Knöpfe im Pseudoskop, so erscheint der Kreis deutlich elliptisch und seine Ebene sehr merklich gegen den Beobachter geneigt.

Es ist klar, dafs man die chiastopische Augenstellung kombinieren kann mit den drei möglichen Strahlengängen, dem ento-, dem tele- und dem hyperzentrischen. Davon sind die erste und die zweite Kombination schon herbeigeführt worden, und zwar wurde namentlich die erste durch die glänzende Entdeckung CH. WHEATSTONES bekannt. Betrachtet man, wie in den vorigen Fällen, das Skelett einer geraden Säule von quadratischer Grundfläche in liegender Stellung, so tritt bei der Anwendung eines der verschiedenen Pseudoskope die geringere Gröfse der näheren Endfläche des Raumbildes sehr deutlich hervor. Der Grund ist in der entozentrischen Perspektive zu suchen, die für jedes Einzelauge herbeigeführt wird, und derzufolge die vom Projektionszentrum weiter entfernte Fläche des Raumobjektes kleiner erscheint als die ihm nähere. Hebt man nun durch Einführung des hyperzentrischen Strahlenganges die perspektivische Verkleinerung der näheren Endfläche auf, so führt die durch die chiastopische Augenstellung hervorgebrachte Umstülpung zu einer Auffassung des Säulenskeletts, die der beim natürlichen Sehen nahe steht, da bei der Skelettnatur des Objektes die Verwandlung der Form in die Trugform nicht bemerkt wird. Anders, wenn sich das Objekt weder prismatisch in die Tiefe erstreckt noch skelettiert ist; dann kann die Betrachtung der Form im natürlichen Sehen nicht mehr als äquivalent gelten mit der der

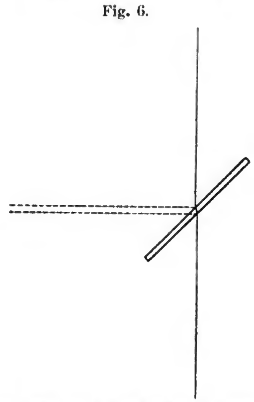
[1] L. BURMESTER: Theorie der geometrisch-optischen Gestalttäuschungen. (Erste Mitteil. m. Taf. I.) *Zeitschr. f. Psych.* **41**, 321—348. 1906.

Trugform, wie sie sich aus der Verbindung der chiastopischen Augenstellung mit dem hyperzentrischen Strahlengange ergibt. Das ist auch der Grund, warum in der öfter zitierten Arbeit empfohlen wurde, den hyperzentrischen Strahlengang mit der chiastopischen Augenstellung zu verbinden, wenn es sich darum handele, durch optische Mittel aus der Betrachtung einer Hohlform eine richtige Vorstellung von ihrem Abgusse zu erhalten.

Die Verbindung der chiastopischen Augenstellung mit dem telezentrischen Strahlengange ist bisher wohl nur bei pseudoskopischen Binokularmikroskopen verwirklicht worden, soweit sie mit starken Objektivsystemen ausgerüstet worden waren. Mit den hier vorgeschlagenen Mitteln läfst sich ohne Schwierigkeit für die Vereinigung von telezentrischem Strahlengang mit der chiastopischen Augenstellung eine makroskopische Versuchsanordnung treffen, und es zeigt sich dann, dafs die Raumgliederung auch bei telezentrischem Strahlengange ebenso leicht aufgefafst wird wie bei entozentrischem, eine Tatsache, die in manchen Darstellungen in Zweifel gezogen worden ist.

Zwischen der orthopischen und der chiastopischen Stellung der Objektaugen liegt die synopische oder der Fall, wo die Bilder der beiden Einzelaugen an ein und dieselbe Stelle des Objektraums fallen. Die Verwirklichung dieser Möglichkeit scheint auch auf die binokularen Mikroskope beschränkt geblieben zu sein. Sie ist anscheinend auch dort unbewufst herbeigeführt worden, und es ist daher kein Wunder, dafs die bereitgestellten Mittel auf makroskopische Instrumente nicht angewendet worden sind, obwohl eine Zeitlang lebhafte, allerdings nicht ganz klare Bestrebungen in dieser Richtung bestanden.

Fig. 6.

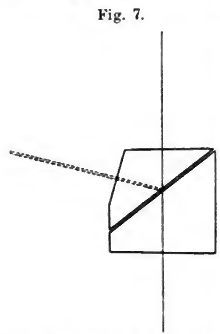


Die Zerlegung der Strahlen durch einen unbelegten Spiegel.

Man hat zunächst wohl die Aufgabe, einen Strahl des Objektraumes in zwei verschieden gerichtete zu zerlegen, durch die

Einführung eines unbelegten Spiegels zu lösen gesucht, doch besteht dabei der Übelstand, dafs man aus mechanischen Gründen die spiegelnde und durchlassende Platte nicht beliebig dünn machen und daher das Auftreten von Doppelbildern nicht vermeiden kann. Dieses Prinzip, den Strahl durch die mit der Brechung verbundene Reflexion zu teilen, wurde in einer jenen Nachteil vermeidenden Form wohl zuerst von H. Swan 1863 verwirklicht, und zwar wurde damals bei der Lösung einer hier nicht interessierenden Aufgabe etwa die folgende Form gefunden. Man sieht ohne Schwierigkeit ein, dafs man hier in der Dicke der gleichzeitig reflektierenden und durchlassenden Schicht nicht mehr beschränkt ist, und sie soweit vermindern kann, dafs die Doppelbilder nicht mehr stören. Im folgenden sei diese Einrichtung als der Swansche Würfel bezeichnet. Es mag gleich hier bemerkt werden, dafs dasselbe Aushilfsmittel bei der Konstruktion binokularer Mikroskope zum zweiäugigen (indifferenten) Sehen noch zweimal aufgefunden worden ist, beidemal von der Vorgängerschaft unabhängig, nämlich einmal von F. H. Wenham 1866 und dann von E. Abbe 1880.

Fig. 7.

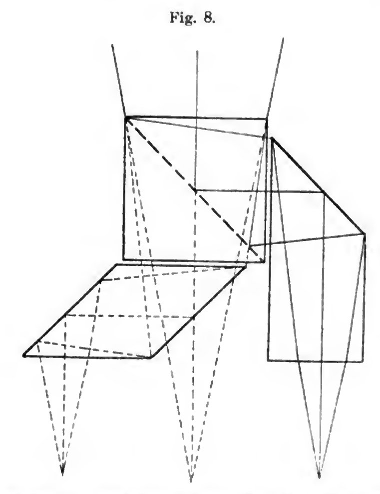


Die Zerlegung der Strahlen durch einen Swanschen Würfel.

Rein theoretisch liefse sich auch mit einem Swanschen Würfel eine Anordnung herstellen, bei der die beiden Objektaugen zusammenfielen. Doch würde sie nur ein sehr kleines Gesichtsfeld haben und sich daher für den hier verfolgten Zweck wenig eignen. Ein besseres Mittel ist die Einführung einer gleichzeitig durchlässigen und spiegelnden Fläche in einen wirklichen Glaswürfel. Allerdings wird dadurch ein merkbarer Lichtverlust herbeigeführt. Wie die nebenstehende Figur erkennen läfst, kann man einen solchen Apparat auch verschiedenen Augenabständen anpassen, und zwar geschieht das in einfacher Weise durch eine Drehung des linken rhombischen Prismas um die Mittellinie des Würfels, die in der Figur 8 gleichzeitig die Mittellinie der ganzen Zeichnung ist.

Wenn es sich nun um die Anwendung dieses synopischen

Fig. 8.



Ein schematischer Horizontalschnitt durch ein Synopter. Die gleichzeitig durchlassende und spiegelnde Schicht ist durch die stärker gestrichelte Diagonale des oberen Quadrats dargestellt.

Instrumentes, des Synopters, handelt, so ist damit zunächst die synopische Augenstellung in den drei möglichen Fällen des Strahlenganges herbeizuführen. Es zeigt sich bei den stereometrischen Skeletten dann die Erscheinung, dafs man von einer Tiefenwahrnehmung nicht mehr reden kann, sondern das Relief, ganz wie bei einäugiger Betrachtung, nach Belieben richtig und konvertiert auffassen kann. Es lassen sich aber auch noch andere Versuche anstellen, die zum Teil wichtiger erscheinen. Es handelt sich um die Betrachtung von ebenen Perspektiven mit beiden Augen. Bleibt man zunächst bei Gemälden, für die man ja verhältnismäfsig kleine Gesichtswinkel voraussetzen kann, so wird durch ein solches Instrument die Wirkung des beidäugigen Sehens, die das Dargestellte auf der Mal- oder der Zeichenfläche lokalisierte, aufgehoben, ohne dafs doch eines der beiden Augen geschlossen würde.

Die in der Zeissischen Werkstätte mit einem solchen Synopter

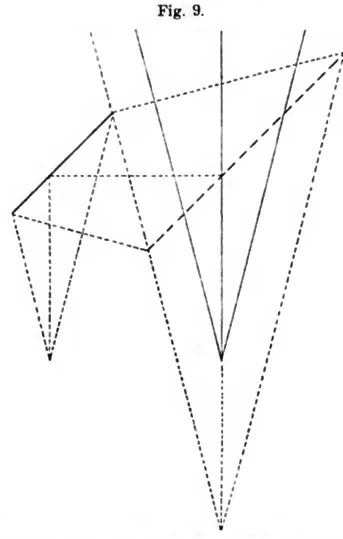
angestellten Vorversuche haben indessen gezeigt, was auch von vornherein zu erwarten war, dafs der Gesichtswinkel bei einer Anordnung wie der dargestellten doch nur unbequem kleine Werte annehmen kann, wenn man mäfsig grofse Prismen verwenden will. Aufserdem kommt die Anfertigung nicht gerade billig zu stehen.

Nach verschiedenen Versuchen schien indessen die im nachstehenden beschriebene Einrichtung gewisse Vorteile zu bieten, obwohl sie zunächst nur als ein sehr mäfsiger Notbehelf erschien.

Es ist nicht notwendig, die gleichzeitig durchlässige und spiegelnde Schicht im Innern eines Glaswürfels zu verwenden, sondern man kann auch einen ebenen Spiegel in dieser Art herstellen. Die Doppelbilder der Trägerschicht braucht man nicht zu fürchten, da sie bei ihrer verminderten Intensität nicht sehr auffallen. Allerdings erfahren auch hier wieder beide Teile des ursprünglichen Strahles in der Silberschicht eine merkbare Schwächung.

Stellt man einen gewöhnlichen und einen halbdurchlässigen Spiegel in einer dem Augenabstande angemessenen Entfernung parallel zueinander auf und läfst sie mit der Verbindungslinie der beiden Drehungszentren einen Winkel von 45 Graden bilden, so wird der von dem linken Drehungspunkt ausgehende, der Medianebene parallele Horizontalstrahl nach einer zweifachen Spiegelung mit der entsprechenden Richtung des rechten Auges zusammenfallen. Für das rechte Auge wirkt der durchlässige Spiegel nur intensitätsschwächend, ändert also seine Lage zu den Objekten nicht. Das linke Auge wird aber durch die Wirkung der beiden Spiegel hinter dem rechten und zwar in einer Entfernung von ihm abgebildet, die gleich dem Abstande der beiden Drehungszentren ist. Man sieht ohne Schwierigkeit ein, dafs die beiden Spiegel eine sehr verschiedene Gröfse haben müssen. Aus der Gestaltung des Gesichts folgt, dafs man dem Instrument keinen beträchtlichen Gesichtswinkel geben kann. Da der grofse halbdurchlässige Spiegel mit seiner vorderen Kante an die Nase stöfst, so mag als Bedingung eingeführt werden, dafs zwischen der Kante dieses Spiegels und der Augenbasis eine Entfernung von 40 mm bestehen mufs. In diesem Falle wird das Gesichtsfeld des direkten Sehens 15 Grade nach rechts und nach links, sowie nach oben und nach unten betragen, also etwa den Winkel umfassen, den Künstler für ihre Gemälde zu wählen pflegen.

Fig. 9.



Ein Horizontalschnitt durch das Pinakoskop. Der halbdurchlässige Spiegel ist gestrichelt dargestellt.

Wendet man nun ein solches Instrument zur Betrachtung von ebenen Perspektiven an, wie es beispielsweise Gemälde und Zeichnungen sind, so stehen die Objektaugen zu dem Bilde nicht in dem gleichen Verhältnis, sondern das rechte sieht das Gemälde unter einem gröfseren Bildwinkel als das linke. Es läfst sich leicht zeigen, dafs die Tangenten dieser Bildwinkel zueinander im umgekehrten Verhältnis stehen wie die Entfernungen der Augendrehungszentren, also wie

$$\frac{x}{x + 6 \cdot 4}$$

wo x die in Zentimetern gemessene Entfernung des Bildes vom rechten Drehungspunkte ist. Ein beliebiger Punkt der ebenen Perspektive erscheint also dem rechten Auge unter einem gröfseren Winkel als dem linken, und zwar besteht zwischen den Tangenten

der zugehörigen Winkel die soeben angegebene Beziehung. Die beiden Augen des Beobachters befinden sich in derselben Lage, als wenn jedem von ihnen in einem Wheatstoneschen Stereoskop die gleiche Perspektive aber in etwas verschiedenem Maſsstabe dargeboten würde. Die entsprechenden Sehstrahlen schneiden sich auf einer Fläche, die nur zum Teil in dem Sehraume des Beobachters liegt. Aber trotzdem ergibt sich ein einheitlicher Eindruck. Ganz entsprechend wird auch bei dem hier beschriebenen Versuch die ebene Perspektive einfach gesehen, und der Eindruck ist wenig von dem verschieden, den das Objekt bei einäugiger Betrachtung hervorruft. Dieser Sachverhalt, der vom Standpunkte des Optikers nicht zu erklären ist, wird hier einfach als eine Beobachtungstatsache angeführt. Sieht man, wie es nach stereoskopischen Versuchen angängig erschien, eine Gröſsenverschiedenheit der Einzelbilder von 5 % als unauffällig an, so kommt man auf einen Abstand von etwa 130 cm, von wo ab dieses Instrument so wirkt wie eine ideale Einrichtung. Viele Beobachter, und der Verfasser gehört auch unter ihre Zahl, empfinden auch bei wesentlich kleineren Abständen, solchen von ¾ m und darunter, noch nicht die Gröſsenverschiedenheit der beiden Bilder als störend.

Die Möglichkeit, damit bequem beidäugig Gemälde betrachten zu können, scheint es zu rechtfertigen, den Apparat mit dem alten auf E. Javal zurückgehenden Namen Eikonoskop zu bezeichnen, wofür auch Pinakoskop eintreten könnte, um Verwechselungen zu vermeiden. Es sind tatsächlich in früher Zeit, etwa von den fünfziger bis zu den siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts, eifrig Versuche gemacht worden, eine befriedigende Betrachtung von Gemälden mit beiden Augen zu ermöglichen, was man im einzelnen in der Arbeit des Verfassers[1] nachlesen kann. Der Versuch, die stereoskopischen Differenzen der Bildpunkte für die beiden Augen wirklich zum Verschwinden zu bringen, scheint nirgendwo gemacht worden zu sein, dagegen versuchte zuerst wohl Fr. de Zinelli im Jahre 1856 eine Verminderung, indem er das Gemälde mit einem holländischen Doppelfernrohr betrachtete, wobei tatsächlich die Objektaugen

[1] Über perspektivische Darstellungen und die Hülfsmittel zu ihrem Verständnis. *Zeitschr. f. Instrumentenkunde*, 1905, 25, 293—305, 329—339, 361—371.

aufserordentlich weit zurückverlegt wurden, so dafs an jedem einzelnen Punkte des Gemäldes durch seine Verbindung mit den beiden Endpunkten der Augenbasis nur noch ein sehr kleiner Winkel entstand. Auf anderem Wege versuchte E. Javal 1866 mit besserem Erfolge dasselbe Ziel zu erreichen, indem er durch

Fig. 10.

Ein Horizontalschnitt durch das Javalsche Eikonoskop. Die Objektaugen sind auf den 3,3 Teil des ursprünglichen Abstandes zusammengerückt und etwas zurückverlegt. (Im oberen Teile der Zeichnung ist bei den inneren Strahlen das gestrichelte mit dem ausgezogenen Stück vertauscht zu denken.)

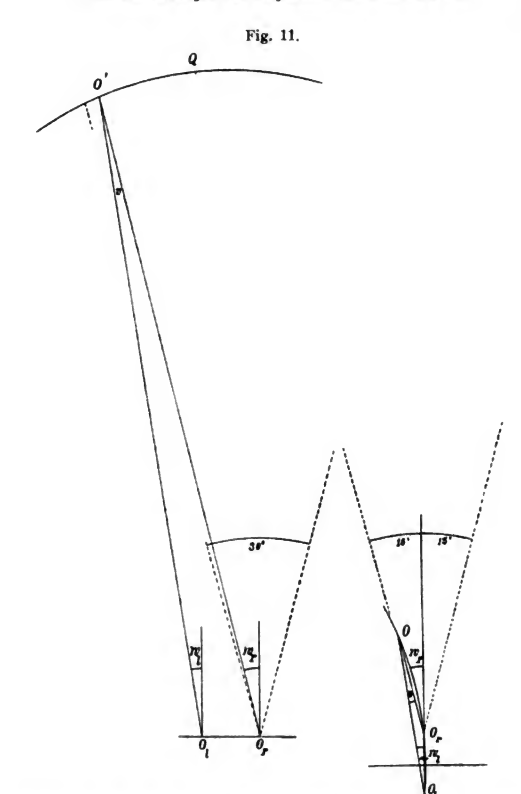
ein Paar rhombischer Prismen nach J. L. Riddell und F. H. Wenham die Objektaugen sehr nahe zusammenlegte. Nach diesem Instrument, das wohl kaum eine gröfsere Verbreitung erhalten hat, ist auch der hier gebrauchte Name gebildet worden. Die andere Gruppe von Konstrukteuren, die von der leider auch nicht einmal annähernd vorhandenen idealen Einzellinse ausgingen, und als deren Vertreter Ch. J. Rowsell und namentlich W. Zenker zu gelten haben, kommt hier nicht in Betracht, weil sie stets Bilder bestimmter Gröfse vorausgesetzt und an die Betrachtung von Gemälden von Künstlerhand kaum gedacht haben.

Für die Betrachtung von Photogrammen eignet sich diese Vorrichtung im allgemeinen nicht, da heutzutage die Photogramme in der Regel in kleinem Mafsstabe und mit grofsem Gesichtswinkel ausgeführt werden. Dagegen lassen sich Projektionsvorführungen sehr wohl mit dem Pinakoskop betrachten, und es mag bei dieser Gelegenheit darauf hingewiesen werden,

dafs sich hier die einzige Möglichkeit zu bieten scheint, eine Weitwinkelaufnahme von wirklich grofsem Winkel nicht nur einäugig, sondern sogar mit beiden Augen so zu betrachten, dafs sie einen naturgetreuen Eindruck macht. Um zu vermeiden, dafs der Beobachter in den die Austrittspupille des Projektionssystems verlassenden Strahlenkegel trete, wählt man für die Projektion einen durchlässigen Bildschirm, hinter den der Beobachter tritt; er mufs allerdings den Übelstand in den Kauf nehmen, dafs er jeweils auf ein Gesichtsfeld von etwa 30 Graden beschränkt ist und damit das Feld der Weitwinkelaufnahme gleichsam absuchen mufs. Die Kopfbewegungen, die man vor einer solchen Projektionsdarstellung macht, sind zweifellos natürlich, da man sie auch bei der Betrachtung des aufgenommenen Objektes gemacht haben würde, weil man ein so grofses Feld wie ein Weitwinkelobjektiv nicht mit den blofsen Augendrehungen beherrscht. Die bei den Kopfdrehungen unvermeidlichen Verlagerungen des Drehungszentrums sind aber einer so stark vergröfserten Abbildskopie gegenüber nicht weiter schädlich.

Wendet man das hier vorgeschlagene Pinakoskop auf räumlich ausgedehnte Objekte an, so erhalten die beiden Augen verschiedene Perspektiven, da ja die beiden Objektaugen in der Hauptsehrichtung hintereinander liegen. Beschränkt man die Betrachtung zunächst auf den Horizontalschnitt, so kann man offenbar nach dem rechts gelegenen Teil der nebenstehenden Figur durch die in der Hauptsehrichtung gelegenen Objektaugen O_l und O_r Kreisbogen legen, und zwar kommen diese Bogen soweit in Betracht, als sie in das Gebiet fallen, das von O_r aus durch eine unter 15 Graden gegen die Hauptsehrichtung gezogene Gerade abgegrenzt wird. Diese Bogen sind die geometrischen Orte aller Punkte, die mit den beiden Objektaugen je den gleichen Winkel v bestimmen. Die in den Drehungszentren der Augen gebildeten Winkel w_r, w_l sind die gleichen, wie sie von sehr viel weiter entfernten Punkten O' im freien Sehen bestimmt werden würden, und wie sie im linken Teil der Fig. 11 dargestellt worden sind. Diese Punkte würden auf Kreisen von gleichem Radius liegen, die ebenfalls durch die beiden Augendrehungszentren gingen, die aber jetzt auf einer zur Hauptsehrichtung senkrechten Graden anzunehmen wären. Man erkennt sofort, dafs der vorher in die Tiefe gehende Kreisbogen nunmehr etwa parallel zur Augenbasis liegt. Die Konvergenzwinkel v nehmen aufserordent-

Fig. 11.



Die Winkel w_l, w_r, an den Augen des Beobachters im Bildraume.

Die Winkel w_l, w_r, an den Objektaugen.

Zur Theorie des Pinakoskops.

lich rasch mit der Annäherung an die Hauptsehrichtung ab, werden aber auch für Objekte am Rande des Gesichtsfeldes klein, wenn nur ihre Entfernung x vom rechten Auge grofs genug ist (z. B. $x = 360$ cm; $y = 90$ cm; $v = 0^{0},236$). Von stereoskopischen

Winkelverschiedenheiten ist nicht die Rede, da man sich leicht überzeugt, dafs die Konvergenzwinkel ihr Zeichen ändern, wenn das Objekt auf die andere Seite der Hauptsehrichtung tritt.

Zieht man nun auch Objektpunkte in Betracht, die aufserhalb der bis jetzt allein behandelten Horizontalebene liegen, so läfst sich ohne grofse Schwierigkeit zeigen, dafs die Höhenwinkel der Objektseite, durch die Spiegelwirkung unverändert auf die Bildseite übertragen, in den Drehungszentren des Beobachters zwei Richtungen bestimmen, die sich im Raume kreuzen aber nicht schneiden.

Vom rein geometrischen Standpunkt aus betrachtet, liegen also nicht die Bedingungen vor, dafs ein wirkliches Raumbild zustande kommen könnte, doch haben Versuche gezeigt, dafs man sehr wohl von einem einheitlichen Eindruck sprechen kann, und zwar fehlt in einer aufserordentlich auffallenden Weise die Tiefenwahrnehmung an räumlich ausgedehnten Objekten.

Es ist also in dem Pinakoskop trotz seiner unstrengen Anlage ein Instrument vorhanden, das unter Benutzung beider Augen geeignet ist für die Entwerfung der Perspektive eines körperlichen Objektes und für die umgekehrte Aufgabe, die Herbeiführung der Raumillusion aus einer gegebenen Perspektive. Schaut man durch das Instrument auf ein gegebenes Objektrelief, so ist wohl jedem Beobachter das Verschwinden der Tiefenerstreckung deutlich. Eine gewisse Anzahl von Beobachtern, anscheinend solche, die sich der Stellung ihrer Augenachsen mit grofser Sicherheit bewufst sind, erhalten den Eindruck, dafs nahe Gegenstände, etwa Fensterrahmen, in weite Entfernung gerückt sind und aufsergewöhnlich grofs erscheinen neben den wirklich fernen Gegenständen, die durch das Fenster sichtbar sind und unmittelbar hinter ihm zu liegen scheinen. Anderen, und zu ihnen gehört der Verfasser, erscheinen zwar auch alle Gegenstände in gleichem Abstande, der aber unbestimmt ist. Sie bemerken nur eine ungewohnte Gröfsenverschiedenheit zwischen sonst gleich grofsen Gegenständen, z. B. zwischen zwei Personen, die nebeneinander zu stehen scheinen, während die eine doch doppelt so weit entfernt ist wie die andere.

Selbstverständlich kann man das Eikonoskop auch mit den drei Möglichkeiten des Strahlenganges verbinden und erhält dann in allen Fällen ein Raumbild, das, sobald wirklich ein einziges Objektauge vorhanden ist, im Unendlichen liegt und

keine Tiefenausdehnung hat, so dafs es mit gleicher Leichtigkeit als ein orthoskopischer wie als ein pseudoskopischer Körper gesehen werden kann.

Es wird die Übersicht erleichtern, wenn man auch hier, wie in der öfter zitierten Arbeit ein Schema angibt, das die sämtlichen neun Fälle der Raumanschauung zusammenfafst (s. S. 428).

Bei diesem Schema kann man darauf hinweisen, dafs eine weitere Teilung namentlich für das Gebiet I. 1. von Interesse ist. Wenn man die Bezeichnungen des Autors annimmt[1], so kann man hier einmal die verschiedenen Mafsstabsänderungen untersuchen, wie sie aus einer Änderung der Basis folgen, und ferner die homöomorphe Wiedergabe des Raumobjektes von der heteromorphen trennen, unter den heteromorphen aber namentlich die verschiedenen porrhallaktischen Raumbilder studieren. Es entfernt sich das aber bereits von dem hier vorliegenden Thema, weil die Frage nach der Ähnlichkeit oder der Unähnlichkeit der Raumbilder viel spezieller ist als die hier behandelte Aufgabe.

Zum Schlufs aber mögen die Unterschiede und die gegenseitigen Beschränkungen hervorgehoben werden, die den beiden Darstellungsarten eigen sind, wie sie in dieser und in der unmittelbar voraufgehenden Arbeit angewandt worden sind.

Die direkte Beobachtung in einem geeigneten Instrument ist bequemer und führt schneller zum Ziele, aufserdem kann die Auffassung des Raumbildes mit Leichtigkeit unmittelbar mit der des Raumobjektes verglichen werden, da dieses ja immer zur Stelle sein mufs. Die Umstände, die aufser der blofsen Form vorhanden sind, werden entweder genau oder doch nur mit geringen Änderungen wiedergegeben, mag es sich nun um die Farbe oder um die Art der Beleuchtung handeln. Diesen grofsen Vorzügen steht als Nachteil das geringe Gesichtsfeld gegenüber, das wohl allen zum freien Sehen bestimmten Spiegelinstrumenten eigen ist. Man sieht also stets das Raumbild durch einen verhältnismäfsig engen Rahmen.

Wendet man sich nun zur Demonstration mit Hilfe photographischer Aufnahmen, so ist die gröfsere Unbequemlichkeit

---

[1] Das Sehen. A. Winkelmanns Handbuch der Physik. Leipzig, J. A. Barth. 1904. Bd. 6. 270—295. S. a. den Sonderabdruck: S. Czapski, Grundzüge der Theorie der optischen Instrumente nach Abbe. 2. Aufl. unter Mitwirkung des Verf. und mit Beiträgen von M. von Rohr herausgegeben von O. Eppenstein.

Die neun Möglichkeiten der Raumanschauung.

Die Stellung der Objektaugen ist	Der Strahlengang beim Einzelauge ist: I. entozentrisch	II. telezentrisch	III. hyperzentrisch
1. orthopisch	I. 1. Die Betrachtung von reellen Objekten mit freien Augen.	II. 1. Die Betrachtung von virtuell abgebildeten Objekten, wenn die Augen in der hinteren Brennebene einer grofsen Linse stehen.	III. 1. Die Betrachtung von virtuell abgebildeten Objekten, wenn die Augen hinter der hinteren Brennebene einer grofsen Linse stehen.
2. synopisch	I. 2. Die Betrachtung von reellen Objekten durch ein Synopter.	II. 2. Die Betrachtung von virtuell abgebildeten Objekten durch ein Synopter, wenn sein Objektauge in der hinteren Brennebene einer grofsen Linse steht.	III. 2. Die Betrachtung von virtuell abgebildeten Objekten durch ein Synopter, wenn sein Objektauge hinter der hinteren Brennebene einer grofsen Linse steht.
3. chiastopisch	I. 3. Die Betrachtung von reellen Objekten durch ein Pseudoskop.	II. 3. Die Betrachtung von virtuell abgebildeten Objekten durch ein Pseudoskop, wenn seine Objektaugen in der hinteren Brennebene einer grofsen Linse stehen.	III. 3. Die Betrachtung von virtuell abgebildeten Objekten durch ein Pseudoskop, wenn seine Objektaugen hinter der hinteren Brennebene einer grofsen Linse stehen.

nicht zu bestreiten, und es fehlt die Möglichkeit, kontinuierliche Änderungen, etwa durch Bewegungen des Beobachters oder des Objektes, zu beobachten. Ferner ist allein die Wiedergabe der Form gesichert, während die der Farbe für diese Aufgaben fortfällt, und auch die Helligkeitswerte recht verändert ausfallen können. Zu empfehlen ist, bei solchen Versuchen nicht beliebige Photogramme zu verwenden, sondern nur solche, die unter genau bekannten Versuchsbedingungen angefertigt wurden und jederzeit mit dem Objekt verglichen werden können. Der Hauptvorteil aber, den Photogramme liefern können, liegt in dem sehr merklich gröfseren Gesichtsfelde, das sie ermöglichen, und das bis auf den Betrag von 60 Graden gebracht werden kann. Freilich gehören dazu Einrichtungen, die eine genaue Einhaltung der Beobachtungsbedingungen gestatten, also unter anderem Betrachtungssysteme, die im direkten Sehen nicht verzeichnen.

Der Grund dieses verschiedenen Verhaltens scheint nicht allgemein bekannt zu sein. Er ist einzig in dem besonderen Bau des Auges zu suchen, da sein als perspektivisches Zentrum dienender Drehpunkt etwa 11 mm hinter der die Apertur beschränkenden Augenpupille liegt und bei der Beobachtung an einen Achsenort gebracht werden mufs, der mindestens 25 mm hinter der nächsten Fläche des Instruments liegt. Man mufs also aufserordentlich grofse Austrittspupillen von Instrumenten fordern, die im freien ungehinderten Sehen benutzt werden sollen. Diese Forderung ist bei den gewöhnlichen optischen Instrumenten nicht erfüllt, und sie werden für ein gröfseres Gesichtsfeld auch in der Regel nicht im freien, ungehinderten Sehen verwendet, sondern man benutzt sie mit kleinen Kopfbewegungen. Dafs sich jene Forderung bei der Betrachtung von Photogrammen soviel leichter erreichen läfst, liegt daran, dafs die Abbildskopie, wie sie das Photogramm darstellt, physische Existenz hat, also nach allen Seiten diffus strahlt, und dieser Umstand macht eine Einrichtung des Strahlenganges möglich, wie sie dem Bau des Auges angemessen ist.

Es erscheint daher zweckmäfsig, die in dieser Arbeit hauptsächlich beschriebenen Versuchsanordnungen als solche in Instrumenten mit ununterbrochener Abbildung den früher beschriebenen Einrichtungen mit unterbrochener Abbildung gegenüber zu stellen.

(Eingegangen am 24. Dezember 1906.)

(Aus der psychiatrischen Klinik zu Würzburg.)

Über Sinnestäuschungen im Muskelsinn bei passiven Bewegungen.

Von

Dr. M. Reichardt, Privatdozent.

In seiner Begrüfsungsschrift zum 2. Kongrefs für experimentelle Psychologie (Würzburg, April 1906)[1] beschreibt Professor Rieger einen Apparat, welcher in der hiesigen psychiatrischen Klinik seit Jahren zur Untersuchung von Muskelzuständen am Lebenden im Gebrauch ist. Ich selbst habe oft genug als Versuchsperson bei derartigen Versuchen gedient. Es fiel mir sehr bald auf, dafs unter bestimmten Bedingungen die gröfsten Differenzen bestehen können zwischen den tatsächlichen Bewegungen des Beines (Armes) und den hiervon in das Bewufstsein tretenden Empfindungen. Ich will versuchen, einiges davon im folgenden zu beschreiben.

Hierzu mufs ich die kurze Schilderung zweier, für diese Beschreibung wichtiger Phänomene vorausschicken, welche der lebende Muskel in gesetzmäfsiger Weise zeigt, nämlich eine, unter gewissen Bedingungen im Muskel auftretende Bremsung, und die sogenannte Nachwirkung.

Wie die Bremsung nachgewiesen wird, das hat Rieger im 3. Teile der genannten Schrift gezeigt. Eine Bremsung in der Bewegung des untersuchten Gliedes tritt dann ein, wenn das betreffende Glied, welches bisher passiv in der gleichen Richtung sich bewegte, durch Änderung der Belastung des Apparates in die entgegengesetzte Richtung gedreht wurde.

[1] Jena, Gustav Fischer 1906. Bezüglich der technischen Einzelheiten der folgenden Abhandlung sei auf diese Schrift verwiesen.

Mit dem Worte „Nachwirkung“ werden spontane, aber vom Willen nicht veranlafste Bewegungen des völlig im Gleichgewicht aufgehängten Unterschenkels (Armes) bezeichnet, welche stets dann auftreten, wenn die Extremität durch Änderung der Belastung des Apparates in irgend eine Lage gebracht wird. Diese primäre passive Bewegung des Gliedes setzt sich dann als spontane Bewegung („Nachwirkung“) in der gleichen Richtung noch etwas fort, nachdem das Glied nach der primären passiven Bewegung vorübergehend scheinbar zur Ruhe gekommen war. Diese Nachwirkung kann am berufsten Zylinder, namentlich an der rotierenden Trommel, mit grofser Genauigkeit aufgezeichnet und gemessen werden; sie pflegt um so gröfser zu sein, je gröfser die primäre passive Bewegung des Beines (Armes) war. Wird also, beispielsweise, der im Gleichgewicht aufgehängte und durch keine willkürliche Muskelspannung gehaltene Unterschenkel durch Wegnahme eines 200 g Gewichtes passiv von 20° auf 30° nach abwärts gedreht, und ist diese primäre Bewegung beendet, so hat der Unterschenkel, nach vorübergehender Ruhe, die Tendenz, im Verlaufe von Minuten noch ein wenig mehr nach abwärts sich zu bewegen, um etwa 1°. Man könnte in diesem Falle also von „Nachdehnung“ sprechen, wenn man annehmen wollte, dafs die Quadricepsgruppe des Oberschenkels in Beziehung zur Nachwirkung stände. — Wird hingegen der Unterschenkel durch Aufsetzen entsprechender Gewichte um 10° nach oben bewegt, dann zeigt er in ähnlicher Weise das Bestreben, sich weiterhin spontan noch etwas nach aufwärts zu drehen. Der Quadricepsmuskel würde sich also im letzteren Falle verkürzen.[1]

In der später (Seite 442) gebrachten Abbildung bedeuten die senkrechten Striche die primären passiven Lageänderungen des Armes durch Gewichtsvermehrung, resp. -verminderung, während die horizontale Strichelung den Weg der spontanen Nachwirkungsbewegung darstellt.

Bereits die erste Untersuchung dieser Nachwirkung zeigte mir (was, wie ich später erfuhr, auch schon anderen Beobachtern in der Würzburger Klinik aufgefallen war) die auffallend grofse Differenz zwischen den (am berufsten Zylinder ables-

---

[1] Für die folgenden Ausführungen ist es gleichgültig, zu wissen, ob die jeweilige Nachwirkung durch Dehnung, resp. Verkürzung der oberen oder unteren Muskelgruppe entsteht. Auch dürfte diese Frage nicht sobald zu entscheiden sein.

baren) objektiven und langsamen Bewegungen der Extremität und der subjektiven Empfindung davon. War die Nachwirkungsbewegung etwas erheblicher und z. B. nach unten gerichtet, so hatte ich das Gefühl, als ob das Bein mit grofser Schnelligkeit um 20 bis 30° nach abwärts stürze, während die tatsächliche Bewegung im Verlaufe von Minuten 1 bis 2, bis höchstens 3° betrug. Hatte dagegen die Nachwirkung die Richtung nach oben, wobei ebenfalls nur eine minimale objektive Bewegung zustande kam, so war die verursachte Empfindung doch die einer ausgiebigen, raschen, viele Winkelgrade betragenden Bewegung. Die Nachwirkungsbewegung erscheint also im Bewufstsein um ein Vielfaches multipliziert. Infolgedessen entstanden naturgemäfs beträchtliche Täuschungen in der Beurteilung der Lage und Winkelstellung der Extremitäten.

Durch eine sehr grofse Anzahl von Untersuchungen habe ich versucht, den sich aus dieser Beobachtung zunächst ergebenden Fragen näher zu treten, speziell auch inwieweit und unter welchen Bedingungen durch diese verstärkte Empfindung der Nachwirkung beeinflufst wird: das Abschätzen der Lage des Beines, die Grenzen der Wahrnehmung kleinster passiver Bewegungen, und der Versuch einer Lokalisation der Bewegungsempfindungen (Muskel? oder Gelenk?).

Im folgenden gebe ich ein Protokoll einer derartigen Untersuchung wieder. Die Äufserungen der Versuchsperson wurden sofort aufgeschrieben, ebenso auch die objektiven Bewegungen des Beines, die verschiedenen Winkelstellungen und die Belastungsänderungen des Apparates. Der Umstand, dafs beim Diktieren des Protokolles die Versuchsperson selbst sprechen mufs, ist ein Nachteil, weil durch den Impuls zum Sprechen (ebenso wie durch jeden anderen motorischen Impuls) unwillkürliche Innervationsstöfse in die zu untersuchende Extremität kommen können. Indes wurde das im Protokoll Wiedergegebene von mir während der Versuche so oft ebenfalls beobachtet, wenn ich während des Versuches gar nichts sprach, überhaupt mich nach Möglichkeit regungslos verhielt, dafs die durch Sprechen entstandenen allfälligen Beobachtungsfehler sicher nicht sehr das Resultat beeinträchtigen.

Das Bein ist horizontal äquilibriert und möglichst völlig entspannt. Durch Wegnahme eines 1400-g-Gewichtes sinkt der Unterschenkel bis zu einem Winkel von etwa 35°. Diese Bewegung wird in gewöhnlicher Weise

empfunden; sie kam alsbald zum Stillstand. Aber 5 bis 10 Sekunden nach der Gewichtszunahme begann die Empfindung der Nachwirkung, d. h. ein Gefühl sehr starker Abwärtsbewegung, bzw. eines Fallens des Beines. Die Empfindung war anfangs am stärksten, dann nachlassend und wellenförmig wieder stärker werdend. Vorübergehend das Gefühl, als ob der Unterschenkel schnell um 15 bis 20° nach abwärts sänke. Jeder Impuls zum Sprechen, auch jeder andere motorische Impuls (tiefes Atemholen, Druck auf den Knopf der Fünftelsekundenuhr usw.) verstärkt auch die Empfindung des Nach-abwärtsfallens des Beines. Durch solche motorische Impulse in anderen Muskelgruppen kommt es auch hier und da zu unwillkürlichen Innervationsstöfsen in die Oberschenkel-, und zwar meist in die Streckmuskulatur, deren Bewegungen in der Regel sehr deutlich empfunden werden. Objektiv hat sich das Bein währenddessen in 5 Minuten nur um etwa 1¼° nach abwärts bewegt. War die Nachwirkungsempfindung scheinbar zur Ruhe gekommen, so konnte sie durch einen motorischen Impuls in ein anderes Muskelgebiet, z. B. durch das Sprechen, wieder etwas hervorgerufen werden. War die Nachwirkung selbst definitiv zur Ruhe gekommen, so war auch die Empfindung von der Lage des Gliedes wieder die gewöhnliche. Wer bereits im Abschätzen derselben geübt war und gelernt hatte, von den vorhergegangenen Nachwirkungsempfindungen zu abstrahieren, der vermochte nunmehr häufig auch die Lage des Beines annähernd richtig zu schätzen.

Durch Aufsetzen oder Wegnehmen einzelner 200-g-Gewichte wurde nun weiter die Lage des Beines geändert.

Plus 200 g (von Belastung 14 nach 12). Objektiv tritt hier nun die sogenannte Bremsung ein; das Bein bewegt sich nur ca. 1° nach oben. Subjektiv Gefühl minimaler Bewegung.

Plus 200 g (von 12 nach 10). Objektiv 1° nach oben; subjektiv Gefühl minimalster Bewegung. Dann subjektiv leise Nachwirkungsempfindung nach oben, die objektiv gerade eben nachweisbar ist (½ mm). Die Stellung des Unterschenkels wird auf 30° geschätzt, was annähernd zutrifft (35°).

Plus 200 g (von 10 nach 8). Objektiv Bewegung von 2°, subjektiv eine solche von wenigstens 5°. Der (noch immer bei etwa 30° stehende) Unterschenkel erscheint fast gestreckt; das Vermögen, seine Stellung zu taxieren, ist völlig verloren gegangen. Nachwirkungsempfindung nach oben.

Plus 600 g (von 8 nach 2). Der Unterschenkel steht 10° unter der Horizontalen. 5″ nach Aufsetzen des Gewichtes sehr starke Nachwirkungsempfindung, — objektiv nichts nachweisbar.

30″ subjektiv schwächer, objektiv eben beginnend.
60″ subjektiv stärker, objektiv nichts nachweisbar.
90″ }
120″ } subjektiv und objektiv nichts.

Plus 200 g (von 2 nach 0). Nach 10″ subjektiv Nachwirkungsempfindung nach oben; objektiv nichts. Nach 45″ subjektiv starke Nachwirkung, objektiv beginnt sie nachweisbar zu werden.

Minus 1400 g (von 0 nach 14). Das Bein sinkt wieder auf etwa 35°. Objektiv bewegte sich dann infolge der Nachwirkung der Unterschenkel in 5 Minuten um ½° nach unten. Die Nachwirkungsempfindung verhielt sich folgendermaſsen:

12″ erstes Auftreten derselben,

30″ sehr stark; Unterschenkel scheint abwärts zu stürzen,

60″ desgleichen,

75″ etwas schwächer,

90″ wieder stärker,

120″ sehr stark. Der Unterschenkel scheint 10 oder 20° nach abwärts sich zu bewegen.

Auch in der 3. und 4. Minute noch starke Nachwirkungsempfindung, welcher aber objektiv keine meſsbare Bewegung mehr entspricht.

Nach 5 Minuten noch ein wenig Nachwirkungsempfindung. Die Lage des Unterschenkels schätzte ich jetzt, trotz meiner hierin erlangten Übung, auf 60°, während die Winkelstellung nach wie vor etwa 35° war.

Plus 200 g (von 14 auf 12); objektiv 1 bis 2°; subjektiv gar nichts gespürt.

Plus 200 g (von 12 auf 10); subjektiv und objektiv 2°. Dann starke Nachwirkungsempfindung nach oben; dabei das Gefühl des Sich-Reibens der Gelenkflächen, wodurch die Nachwirkungsbewegung gröſser erscheint. — Das Bein machte jetzt eine unbeabsichtigte Bewegung nach oben um 12 bis 15°, die subjektiv zu 2 bis 3° geschätzt wird.

Plus 1000 g (von 10 auf 0). Dann objektiv Nachwirkung um 1½° nach oben in 4 Minuten; subjektiv starke andauernde Nachwirkungsempfindung. Gefühl des überstreckten Unterschenkels, während er tatsächlich noch etwa 5° unter der Horizontale steht.

Aus diesem mitgeteilten Protokoll und aus sehr vielen anderen Versuchen und Selbstbeobachtungen, die stets dasselbe Resultat hatten, ergeben sich eine Anzahl Folgerungen, die ich nunmehr kurz zusammenfasse, wobei ich aber nochmals betone, daſs ich mich hier in erster Linie auf Selbstbeobachtungen stütze, und daſs das Folgende auch nur sich auf die Beinmuskulatur bezieht, während sich mein Arm den gleichen Versuchen gegenüber etwas anders verhält. Infolge der vielen Versuche habe ich im Laufe der Zeit eine gröſsere Übung im Beobachten und Abschätzen der passiven Lagen und Bewegungen des Beines erlangt, so daſs ich, beim Versuch einer Abschätzung, unter Erwägung aller Umstände, durch Kombination und Abstraktion manchmal noch zu einem mehr oder weniger richtigen Urteile komme, trotz der Täuschungen, welche diese Nachwirkungsempfindungen mit sich bringen. Bei anderen Versuchspersonen habe ich die gleichen Sinnestäuschungen während der Nachwirkung angetroffen; die Fähigkeit, Lage und Winkelstellung

der Extremität abzuschätzen, war bei diesen Personen noch bedeutend geringer, die subjektiven Täuschungen und Irrtümer dabei noch stärker, weil ihnen die Übung im Abschätzen fehlte, — abgesehen davon, dafs in der Kunst der Selbstbeobachtung die einzelnen Menschen offenbar grundverschieden angelegt sind. Auch zweifele ich gar nicht daran, dafs es Menschen geben wird, denen die von mir beschriebenen Nachwirkungsempfindungen gar nicht, oder nur unvollkommen zum Bewufstsein gelangen.

Es tritt also die als Nachwirkung bezeichnete, an sich geringfügige, spontane Bewegung des Unterschenkels nicht mit einer ihrer Bewegungsgröfse entsprechenden Empfindung in das Bewufstsein, sondern aufserordentlich viel stärker. Während die objektive Bewegung bei der Nachwirkung etwa 1 bis 2° zu betragen pflegt, entspricht die Empfindung von dieser Bewegung einer Bewegung von vielleicht 10 bis 20°, jedenfalls aber einem Vielfachen. Es ist dieses, jeden Augenblick zu wiederholende und zu kontrollierende Phänomen um so mehr überraschend, als im übrigen die Empfindung und Abschätzung passiver (und aktiver) Bewegungen des Beines eine ziemlich genaue ist und keinesfalls ähnliche Täuschungen aufweist.

Die Richtung der, in die Nachwirkung fallenden, Beinbewegungen (ob nach oben oder nach unten) wird überraschend genau wahrgenommen, sofern überhaupt nur eine Bewegung selbst wahrgenommen wird. Es ist mir bei sämtlichen eigenen Versuchen und denen an fremden Personen nur ein einziges Mal vorgekommen, dafs bei einer ganz geringfügigen Bewegung von ca. 1° die betreffende Person über die Bewegungsrichtung im Zweifel war. — War die Nachwirkungsbewegung nach unten gerichtet, so wurde eine kleine passive Bewegung in der gleichen Richtung selbstverständlich aufserordentlich deutlich, sogar meist verstärkt empfunden. Wurde bei einer Nachwirkung nach unten eine kleine passive Bewegung des Beines nach oben veranlafst, und wurde die letztere überhaupt wahrgenommen, dann konnte auch ihre Richtung stets bestimmt und ohne Irrtum angegeben werden. Ich bin geneigt, dieses Vermögen einer derartig genauen Wahrnehmung der Richtung in Verbindung zu bringen mit der Nachwirkung (bzw. dem ihr zugrunde liegenden Vorgange im Muskel) und mit ihrer die tatsächliche Bewegung verstärkenden Wirkung. Bei kleinen passiven Bewegungen, die der

Nachwirkung entgegengesetzt sind, wird die Nachwirkungsbewegung selbst brüsk unterbrochen, so dafs gerade diese Unterbrechung mir ein Grund zu sein scheint, dafs nicht blofs gleich gerichtete, sondern auch entgegengerichtete kleinste passive Bewegungen in ihrer Richtung genau erkannt werden.

Allerdings kommt es, nach meinen Beobachtungen nicht selten, vor, dafs (bei stets gleichbleibender Geschwindigkeit, bzw. zeitlichem Ablauf der Bewegungen) kleinste passive Bewegungen, welche einer gerade vorhandenen Nachwirkungsbewegung entgegengesetzt sind, überhaupt nicht wahrgenommen werden, obwohl die Schreibfeder an der Trommel eine Bewegung von 1 bis 2° anschreibt (vgl. auch das Protokoll S. 434). So kann die merkwürdige Tatsache resultieren, dafs die gleiche objektive Winkelbewegung des Beines von 1 bis 2°, in der gleichen Winkelstellung des Beines von beispielsweise 30°, das eine Mal (bei gleicher Richtung zur Nachwirkung) sehr stark, das andere Mal (bei entgegengesetzter Richtung) überhaupt nicht empfunden wird. Die Grenzen der Wahrnehmung passiver Bewegungen sind demnach, soweit letztere in den Bereich der Nachwirkung fallen, sehr schwankende. Von jener — ich möchte sagen: maschinenmäfsigen — Regelmäfsigkeit derart, dafs die Grenzen der Wahrnehmung passiver Bewegungen unter allen Umständen die gleichen wären, wie man dies nach der Lektüre von GOLDSCHEIDERS Muskelsinnuntersuchungen annehmen möchte, kann durchaus keine Rede sein.

Die subjektiven Täuschungen, welche die Nachwirkung mit sich bringt, führen ferner zu erheblichen Irrtümern in der Abschätzung der Lage und Winkelstellung der äquilibrierten Extremität. Wer den Apparat genau kennt und von den Täuschungen der Nachwirkung abstrahieren kann, der vermag Lage und Winkelstellung des Beines oft genug annähernd richtig zu taxieren, mit Hilfe einer bestimmten Erfahrung, Übung und Kombination. Aber auch dann geschehen noch oft genug fehlerhafte Schätzungen und Irrtümer, auch wenn die Nachwirkung anscheinend längst zur Ruhe gekommen ist. — Wenn dagegen Personen untersucht werden, denen Apparat und Nachwirkung gänzlich unbekannt sind, so sind die Irrtümer in der Abschätzung des äquilibrierten, passiv bewegten und möglichst nicht durch Muskelspannung gehaltenen Unterschenkels noch bedeutend stärkere, so dafs es vorkommen kann, dafs bei einer

Winkelstellung von 40° das Bein als horizontal gestreckt, ja überstreckt bezeichnet wurde (siehe später). Bei solchen Menschen tritt alsbald eine völlige Desorientiertheit in der Abschätzung der Lage des Beines ein. Allerdings ist hierbei zu berücksichtigen, dafs die Fähigkeit, Lage und Winkelstellung der Extremitäten abzuschätzen, bei den einzelnen Menschen überhaupt individuell verschieden sein mag, — abgesehen von den Täuschungen, welche die Nachwirkungsempfindung mit sich bringt.

Abschätzung oder Nachahmung der primären (durch Gewichtsänderungen hervorgerufenen) passiven Bewegung wurde durch die Nachwirkungsempfindung nicht deutlich beeinflufst. Es gelang sowohl mir, als anderen Personen, die primären passiven Bewegungen mit annähernder Genauigkeit abzuschätzen, oder sofort aktiv nachzuahmen.

Die Frage, wo die Bewegungsempfindung (und zwar zunächst diejenige der Nachwirkung selbst) lokalisiert wird (Muskel, oder Gelenk?), und die hiervon selbstverständlich scharf zu trennende Frage, wo die dieser Bewegungsempfindung zugrunde liegende periphere Veränderung tatsächlich zustande kommt?, — diese Frage ist nicht leicht zu beantworten. Soweit ich aus Selbstbeobachtungen bei vielen Versuchen schliefsen darf, lokalisiert man zweifellos eine Bewegungsempfindung des Unterschenkels hauptsächlich in das Kniegelenk. Das gilt zum grofsen Teil auch von der Nachwirkungsempfindung; die tatsächliche Bewegung bei der Nachwirkung erscheint derart verstärkt, dafs man namentlich im Gelenk eine gröfsere Exkursion des Unterschenkels fühlt, oft sogar ein beträchtliches Aneinandergleiten der Gelenkflächen zu empfinden glaubt. — Dagegen lehrt aber die Beobachtung der Nachwirkung, dafs dieselbe kleine passive Bewegung (1 bis 2°) unter den gleichen zeitlichen Bedingungen diametral verschieden empfunden werden kann, das eine Mal bis zum 10- und 20fachen verstärkt, oder aber gar nicht in das Bewufstsein tretend. In beiden Fällen machen die Gelenkflächen ganz die gleichen Exkursionen. Wurde nun wirklich diese Bewegungsempfindung in den Gelenken erzeugt? Oder ist nicht vielmehr der Schlufs zulässig, dafs (zunächst bei diesen kleinen passiven Bewegungen) der der Bewegungsempfindung zugrunde liegende periphere Vorgang nicht in erster Linie in den Gelenken entsteht? Wenn man annimmt, dafs die Nachwirkung eine Erscheinung der elastischen Eigenschaften des

lebenden Muskels ist, so ist es wohl naheliegend, auch von der Nachwirkungs**empfindung** anzunehmen, dafs die ihr zugrunde liegende periphere Veränderung im **Muskel** entsteht und nur falsch (in das Gelenk) lokalisiert wird. Wenn aber überhaupt nachgewiesen ist, dafs Bewegungsempfindungen aus den **Muskeln** kommen können, so besteht jedenfalls die Möglichkeit, dafs überhaupt bei allen Bewegungen Empfindungen durch **Muskel**veränderungen zustande kommen können.

Im Gegensatz zu diesen Beobachtungen und Ausführungen sagt Goldscheider[1], z. B. S. 192 unten:

Zunächst möge hier festgestellt werden, dafs für die Perzeption der feinsten Bewegungen die Muskeln sicher ohne Bedeutung sind.

oder (S. 194):

Die Untersuchungen schliefsen somit eine Mitwirkung der Muskelsensibilität bei den kleinsten passiven Bewegungen, der Exkursionsschwelle, ganz aus und sprechen in hohem Grade auch gegen eine solche bei umfangreicheren Bewegungen.

oder (S. 55, 187):

. . ., dafs die dem Muskelsinn zugeschriebenen Funktionen überwiegend der Sensibilität des von den Muskeln bewegten Teiles zukommen, . . .

. . ., dafs die Drehung des Gelenkendes mehr ist, als ein bequemes Vergleichsmittel für die Gröfse der Bewegungen, nämlich: der für das Entstehen der Bewegungsempfindung wesentliche Teil.

Demgegenüber bin ich in der Lage, gerade das Gegenteil annehmen zu müssen, bzw. feststellen zu können. Es ist stets etwas Mifsliches, über Versuche zu urteilen, die man nicht aus eigener Anschauung kennt, sondern nur aus gedruckten, bilderlosen Beschreibungen. Denn aus solchen gewinnt man nicht ein genügend klares Bild von der Versuchsanordnung, von dem Bestreben, möglichst viele Fehlerquellen auszuschalten usw. Ich vermeide deshalb auch jede Kritik und beschränke mich auf die Konstatierung der Tatsache, dafs ich auf Grund meiner Beobachtungen zu durchaus anderen Anschauungen gekommen bin, als Goldscheider durch seine Experimente.

Von den verschiedenen subjektiven Einzelerscheinungen, welche die Nachwirkung mit sich bringt, ist ferner bemerkenswert das **zeitliche** Differieren zwischen Stärke der Nachwirkungs**empfindung** und Gröfse der tatsächlichen Bewegung. 15 bis 30 Sek. nach Beendigung der primären passiven Bewegung ist

[1] Physiologie des Muskelsinnes. Leipzig. 1898. J. A. Barth.

die Nachwirkungsempfindung bereits vorhanden und oft schon (nach 30″) an ihrem Maximum angelangt, während die objektive Bewegung zur gleichen Zeit überhaupt erst gerade anfängt, nachweisbar zu werden. Weiterhin ist auffallend das wellenförmige Stärker- und Schwächerwerden der Nachwirkungsempfindung; ob auch die tatsächliche Nachwirkungsbewegungen den gleichen Schwankungen unterliegen, vermochte ich noch nicht genau zu entscheiden. — Kam die Nachwirkungsempfindung nach dem Verlauf von Minuten scheinbar völlig zur Ruhe, so konnte doch der kleinste äufsere Anstofs (Erschütterung des Apparates u. dergl.) sie wieder hervorrufen; auch trat sie einmal, nach einer Pause von 15 Min., scheinbar ganz spontan, wieder auf. Man kann also vielleicht von einer Latenz der Nachwirkungsempfindung sprechen.

Eine weitere beachtenswerte Erscheinung ist die, dafs jeder gewollte oder ausgeführte motorische Impuls, speziell auch z. B. das Ansetzen zum Sprechen, die Nachwirkungsempfindung verstärkt, bzw. wieder hervorruft, wenn sie scheinbar verschwunden war. Auch liefs sich dann in der Regel eine objektive Verstärkung der Nachwirkung an der Trommel nachweisen. Durch solche motorische Impulse in die Sprach-, Atem- oder Handmuskulatur kam es ferner manchmal zu ungewollten Innervationsstöfsen in das äquilibrierte Bein, — Stöfsen, welche gewöhnlich sehr lebhaft empfunden, wenn auch oft falsch in ihrer Gröfse taxiert wurden, bisweilen aber auch der Beobachtung entgingen.

Ferner vermochte die Nachwirkungsempfindung unter Umständen auch zu Täuschungen in der Abschätzung der Gröfse aktiver Bewegungen zu führen. Befand sich z. B. mein Unterschenkel innerhalb einer Nachwirkungsbewegung nach abwärts, und erhielt ich die Aufforderung, in der gleichen Richtung aktiv das Bein so langsam und leise als möglich fortzubewegen, so konnte es kommen, dafs ich die deutlichste Empfindung einer, nach und nach mehrere Grad betragenden, aktiven Beinbewegung hatte, während von einer solchen an der Trommel nichts registriert wurde.

Meine Untersuchungen erstreckten sich ferner auch auf Abschätzen von Gewichten durch die äquilibrierte Extremität, und zwar sowohl durch die entstehende passive Be-

wegung, wie auch durch aktive, bewufste Innervation. Erhebliche Schätzungsfehler waren auch hier sehr häufig.

Endlich habe ich auch die gleichen Versuche mit passiven Bewegungen der äquilibrierten Extremität angestellt, nachdem bestimmte Muskeln (Deltoideus, Quadriceps) durch aktives Halten sehr schwerer Gewichte stark ermüdet waren. Die Nachwirkungsempfindung war dann so stark, wie sonst nie beobachtet.

Aus den Versuchen mit passiven Bewegungen des äquilibrierten Beines ergibt sich also, dafs den, als Nachwirkungsempfindungen beschriebenen, Sensationen, ein realer, objektiv darstellbarer Bewegungsvorgang entspricht. Doch erscheint die objektive Bewegung im Bewufstsein derartig verändert, dafs man sehr wohl berechtigt ist, hierbei von Sinnestäuschungen im Muskelsinn zu sprechen. Der Grund für diese auffallende Differenz zwischen objektiver Bewegung und Wahrnehmung derselben liegt meiner Ansicht nach im Muskel selbst. RIEGER (l. c.) hat, durch die Entdeckung des „Gesetzes der Wendungen", überzeugend dargetan, dafs während der Dehnung oder Verkürzung durch passive Bewegungen der lebende Muskel sich anders verhält, als ein toter elastischer Strang (bei gleichbleibender Temperatur); der lebende Muskel entwickelt dabei unter Umständen eine Bremskraft, welche mefsbar ist und eine aktive, mefsbare Arbeit leistet. Es kommt also im lebenden Muskel bei diesen passiven Bewegungen zu bestimmten eigentümlichen Vorgängen, welche wahrscheinlich mit seiner elastischen Eigenschaft im engsten Zusammenhang stehen und ihren äufseren, objektiven Ausdruck finden u. a. in der Nachwirkung und Bremsung. Diese Vorgänge im Muskel sind es meiner Ansicht nach auch, welche die beschriebenen Sinnestäuschungen hervorrufen.

Das „Gesetz der Wendungen" ist von Herrn Prof. RIEGER im Verlauf vieler Jahre an Hunderten von Menschen so ungezählte Male festgestellt worden, dafs man sagen kann: Bei der Mehrzahl aller Menschen läfst sich dieses spezifische Verhalten des lebenden Muskels nachweisen. Dementsprechend glaube auch ich die zunächst nur an mir, und einigen anderen Versuchspersonen (Ärzten), festgestellten Nachwirkungsempfindungen auffassen zu dürfen als etwas, was überall da zustande kommen kann, wo es überhaupt im Muskel zu den Erscheinungen der Nachwirkung

selbst kommt. Es mufs aber, nach dem im folgenden Mitgeteilten, mit Recht bezweifelt werden, ob bei jedem Menschen die Nachwirkungs e m p f i n d u n g in der von mir empfundenen Weise nun auch ausnahmslos, oder in stets gleicher Stärke, zum B e w u f s t s e i n kommt. Ich werde später unzweifelhafte Beweise dafür erbringen, dafs bei verschiedenen Menschen die Wahrnehmungsfähigkeit bestimmten Muskelzuständen oder Muskelbewegungen gegenüber eine ganz verschiedene ist. So ist es mir auch denkbar, dafs bei einzelnen Menschen eine Nachwirkungs e m p f i n d u n g an sich zwar ganz regelrecht zustande kommen könnte, weil der betreffende periphere Vorgang ordnungsgemäfs zentripetal fortgeleitet wird, dafs aber (infolge eines umschriebenen psychischen Defektes? siehe später) die Nachwirkung nicht, oder nur unvollkommen in das Bewufstsein tritt.

Eine Hauptbedingung für das Zustandekommen, bzw. den Nachweis der Nachwirkung und der Empfindung davon, ist das möglichst p a s s i v e V e r h a l t e n aller jener Muskeln, welche Unterschenkel oder Arm bewegen. Bei dem Streben nach Passivität in jenen Muskeln treten nun eine Anzahl V e r s c h i e d e n h e i t e n zutage, nicht nur bei verschiedenen Personen, sondern auch bei den verschiedenen Muskelgruppen der gleichen Person. Während ich die Oberschenkelmuskulatur jederzeit mühelos ohne aktive Muskelspannung sich selbst überlassen kann, so dafs stets das gleiche Normaldiagramm entsteht — was durch willkürliche Innervation niemals möglich wäre —, erscheint mir ein gleiches passives Verhalten des im Apparat äquilibrierten A r m e s insofern viel schwerer, als der Arm ständig die Neigung hat, ungewollte Bewegungen auszuführen, welche durch keine Belastungsänderung des Apparates, oder sonst einen äufseren Grund veranlafst sein könnten. Während der äquilibrierte Unterschenkel sich gewissermafsen im stabilen Gleichgewicht befindet, erscheint der Arm durchaus im l a b i l e n Gleichgewicht zu sein; ich habe in dem Arm stets das Gefühl der Unstetigkeit und Unsicherheit. Das gleiche ist mir auch von anderen Versuchspersonen berichtet worden. Es verursacht eine gewisse Mühe und energische Ablenkung der Aufmerksamkeit von den Sensationen, die vom äquilibrierten Arm ausgehen, damit dieser sich genügend passiv verhält und nicht den Sensationen nachgibt, welche ein Bewegtw e r d e n des Armes in irgend einer Richtung vortäuschen.

Meistenteils ist es mir nun tatsächlich möglich, den Arm so

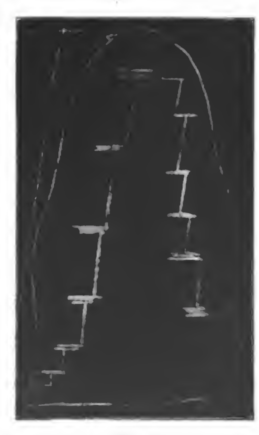


Fig. 1.

passiv zu lassen, dafs ein charakteristisches Diagramm entsteht (Fig. 1). Dieses abgebildete Diagramm ist bei dem gleichen Versuche nicht weniger als viermal in völlig übereinstimmender Form und Gröfse gezeichnet worden, wodurch der Beweis von der genügenden Passivität des Armes erbracht scheint. Denn durch bewufste Innervation wäre (ohne dafs man selbstverständlich die Schreibfeder des Apparates sehen kann) die gleiche Leistung niemals zu erzielen.

Die Nachwirkungsbewegung (horizontale Strichelung in Fig. 1) ist am Arm stärker ausgeprägt, als am Bein, und ebenso bei mir auch die Nachwirkungs*empfindung*. Fehler im Abschätzen der Lage und Winkelstellung treten am Arm ähnlich stark auf, wie am Bein. Kleinste passive Bewegungen werden am Arm deutlicher empfunden als am Bein (was auch Goldscheider nicht entgangen ist, S. 133 a. a. O.), trotzdem die Gelenkfläche des Schultergelenkes viel kleiner ist, als die des Kniegelenkes.

Manchmal dagegen ist es mir nicht gelungen, den äquilibrierten Arm längere Zeit hindurch in derartiger Passivität zu lassen, dafs ein Normaldiagramm aufgezeichnet werden kann. Aus Gründen, welche mir völlig unbekannt sind, ist bei manchen Versuchen die Passivität des Armes äufserst mangelhaft gewesen, dafür aber eine *Unstetigkeit* aufgetreten, welche sich dem nähert, was später von anderen Versuchspersonen beschrieben werden soll. Befand sich der Arm z. B. in einem Winkel von 50° zur Horizontalen, so konnte, bei zunehmender Belastung des Apparates, das Gefühl der Nachwirkung so stark werden, dafs *ein Zug am Arm nach oben vorgetäuscht* wurde. Tatsächlich wurde der Arm *aktiv* durch die Armheber *gehoben*, *ohne dafs ein bewufster Wille zu dieser Bewegung den Anlafs gegeben hätte*. Sobald diese aktive, aber ohne

gewollte und bewufste Innervation zustande gekommene, Bewegung ihr Ende erreichte, liefs, im Bestreben der Passivität, die aktive Spannung in den Armhebern nach, und der Arm sank, bis er wieder im Gleichgewicht hing. Diese Bewegung nach unten löfste nun ihrerseits eine Nachwirkung nach unten aus, die wiederum so stark werden kann, dafs der Arm, in ganz der gleichen Weise, aktiv, aber ohne bewufsten Willen, nach abwärts geht, um dann, nach Beendigung dieser Bewegung, das gleiche Spiel mit einer Bewegung nach oben fortzusetzen. — Ich habe mir also hier dieses Phänomen der Unstetigkeit des äquilibrierten Armes durch ein Übermächtigwerden der Nachwirkungsempfindung zu erklären versucht, wodurch ein fremder Zug am Arm vorgetäuscht wird. Aber ich kann natürlicherweise nicht sagen, ob diese Erklärung die richtige ist.

Jedenfalls aber zeigt sich, dafs derselbe Reiz — passive Bewegungen des äquilibrierten Gliedes — bei demselben Individuum am Arm und Bein verschiedene Wirkungen auslöst und vielleicht quantitativ verschiedene Empfindungen hervorzurufen imstande ist. Ich habe genügenden Grund, anzunehmen, dafs dieses verschiedene Verhalten von Arm und Bein sich nicht nur bei mir findet, sondern auch bei vielen anderen Menschen. Doch vermag ich keine Ursache für diese Verschiedenheit zu nennen. Vielleicht ist sie mehr psychologisch zu erklären, vielleicht anatomisch aus der Richtung und Anordnung der Muskeln, welche beim Knie-(Charnier-)gelenk nur in 2 Richtungen, beim Schulter-(Kugel-)gelenk dagegen in sehr vielen Richtungen auf die zu bewegende Extremität wirken. Oder aber: die einzelnen Muskeln des Körpers sind funktionell (sowohl bezüglich der von ihnen ausgehenden Empfindungen, wie auch der Kraftentfaltung) überhaupt nicht gleichwertig. Dann läge der Grund der genannten Verschiedenheiten in den Muskeln selbst.

Untersucht man nun viele Menschen nach der gleichen Versuchsanordnung mit passiven Bewegungen der äquilibrierten Extremität, so ergibt sich, dafs die Mehrzahl der Menschen diesen Versuchen gegenüber sich insofern gleichartig verhält, als man, regelmäfsig vom Bein, gewöhnlich auch vom Arm, das „Normaldiagramm“ bei ihnen erhält. Im Gegensatz zu dieser ersten Gruppe von Menschen stehen andere, welche bei ganz gleicher Versuchsanordnung ein durchaus anderes motorisches Verhalten zeigen. Das sind einmal (zweite Gruppe) die „Bremser“,

von denen RIEGER in der erwähnten Schrift spricht, und dann (dritte Gruppe) die „Unsteten".

Unter den „Bremsern" sind solche Menschen zu verstehen, welche das möglichst äquilibrierte Bein zwar passiv lassen wollen und es vielleicht auch passiv zu halten glauben; doch entwickelt hierbei die Streckmuskulatur des Oberschenkels eine derartige aktive Kraft, dafs eine Belastung zur Überwindung dieses Muskelwiderstandes notwendig ist, welche das 3- bis 4fache von jener Belastung erreichen kann, die notwendig ist, um den Muskelwiderstand der Gruppe 1 zu überwinden.

Bei den „Unsteten" hingegen ist eine regelrechte Untersuchung mit passiven Bewegungen, z. B. die Aufzeichnung eines Normaldiagrammes, deshalb nicht möglich, weil die äquilibrierte Extremität alsbald in spontane, auf- und abwärts gerichtete Bewegungen, verfällt, die sogar den ganzen Quadranten durchlaufen und ohne Unterbrechung stundenlang fortdauern können.

Ehe ich aber näher hierauf eingehe, möchte ich einige andere Versuche kurz erwähnen, die, ihrer Einfachheit wegen, von jedermann leicht nachgeahmt werden können. Man verschaffe sich eine gewöhnliche Feder-(Küchen)wage, deren obere Wagschale durch ein ebenes Brett ersetzt wird, stellt die Wage so auf, dafs bei aufrechter Stellung der Versuchsperson und bei horizontal seitlich ausgestrecktem Arm die Hand bequem auf der Wage liegt, und fordert dann die Versuchsperson auf, den Arm völlig passiv auf die Wage zu legen. Die Versuchsbedingungen bezüglich der Stellung des Körpers, Lage der Hand usw. müssen natürlich stets einheitliche sein. Nun haben gewifs die einzelnen Menschen verschieden lange und schwere Arme; doch erklären diese morphologischen und anatomischen Verschiedenheiten keineswegs die Unterschiede, welche sich zeigen, wenn man, bei ganz gleicher Versuchsanordnung, verschiedene Personen die Hand des seitlich ausgestreckten Armes auf die Wage legen läfst, mit der Aufforderung der völligen Passivität des liegenden Armes.

Lege ich in der beschriebenen Weise meinen Arm passiv, d. h. ohne bewufste Muskelleistung, auf die Wage, deren Zifferblatt ich nicht sehen kann, dann zeigt die Wage, bei sehr vielen Versuchen, mit grofser Konstanz die Belastung von 2,2 kg an. Alsbald habe ich in dem betreffenden Arm die Empfindung einer starken Bewegung nach unten, während der Zeiger der

Wage ein Anwachsen der Belastung um 300 g angibt. Die Empfindung dieses Sinkens des Armes nach unten ist bei mir aufserordentlich deutlich, die tatsächliche Bewegung der Hand samt der Wagschale nach unten ist dagegen minimal.

Bei einigen anderen Personen, welche bei dem Versuche ebenso das Bestreben der völligen Passivität der Schulter- und Oberarmmuskulatur hatten, zeigte die Wage hingegen Belastungszahlen, welche durch allfällige Verschiedenheiten der Länge und Schwere der Arme nicht zu erklären waren:

Herr Dr. E. 1 bis 1,5 kg. Dabei macht der Zeiger der Wage dauernd Bewegungen, welche Belastungsschwankungen bis zu $^1/_2$ kg anzeigen. Diese Schwankungen, bzw. die betreffenden Armbewegungen kommen der Versuchsperson nicht zum Bewufstsein.

Herr Prof. R. 400 bis 500 g.

Herr Dr. B. 200 bis 400 g.

Diese Versuche sind sehr oft wiederholt worden und haben immer annähernd die gleichen Resultate ergeben. Solche Differenzen im Gewicht des nach bestem Willen passiv gehaltenen Armes sind nur dadurch möglich, dafs die Armmuskeln der verschiedenen Personen sich bei dem Versuche ganz verschieden verhalten. Lastet der Arm sehr schwer auf der Wage, dann ist wahrscheinlich vorwiegend nur die obere Muskelgruppe (Deltoideus) entspannt, während die untere das Übergewicht erhält und den Arm nach unten zieht. Erscheint der Arm auf der Wage besonders leicht, so entspannt die Versuchsperson vielleicht nur die untere Muskelgruppe völlig, während die obere Gruppe aktiv den Arm teilweise hält, ohne dafs dies doch der Versuchsperson zum Bewufstsein kommt. Aber weshalb das alles so ist, vermag ich nicht zu entscheiden. Vielleicht haben die verschiedenen Menschen verschiedenartige Muskeln. Vielleicht besteht ein zu grofses Mifsverhältnis zwischen der Kraft des Agonisten und des Antagonisten. Oder es gehen verschiedene Empfindungen aus den einzelnen Muskelgruppen dem Gehirne zu, und zwar auf Grund von Verschiedenheiten, welche mehr peripher gelegen sind, oder zentral. Vielleicht sind manche Menschen infolge eines umschriebenen psychischen Defektes[1]

[1] Das Studium solcher ganz umschriebener, und zwar psychomotorischer, wie überhaupt psychischer, Defekte gehört zu den reizvollsten Aufgaben der Psychologie und hat auch grofse Bedeutung für die Psychiatrie, speziell

einfach nicht imstande, bestimmte willkürlich bewegbare Muskeln genügend zu entspannen?

Ähnlich wie bei diesem Versuch mit der Wage zeigen nun auch bei dem Bestreben, die äquilibrierte Extremität passiv zu lassen, eine Anzahl Menschen ein so abweichendes Verhalten, daſs z. B. die Aufzeichnung eines Normaldiagrammes unmöglich ist. Entweder entwickeln die Muskeln ohne bewuſsten Willen der Versuchsperson eine ganz bedeutende Kraft, durch welche das Bein in irgend einer Winkelstellung fixiert wird, — oder es tritt jene oben schon kurz skizzierte Unstetigkeit auf, ein Phänomen, dessen Anblick jeden Unbefangenen in Erstaunen setzen muſs: die im Apparat möglichst äquilibrierte Extremität führt, bei gleicher Belastung des Apparates, fortgesetzt spontane Bewegungen aus, manchmal durch den ganzen

für das Verständnis der Idiotie. „Idiotie" ist nicht die Bezeichnung einer einheitlichen Krankheit, sondern ein zusammenfassender Begriff für viele, von frühester Kindheit an bestehende Schwachsinnsformen. Die gegenwärtige Anschauung über Idiotie scheint dahin zu gehen, daſs mangelhafte Keimanlage, krankhafte, vom Gefäſssystem ausgehende Prozesse, Hirnhautentzündung etc. als Hauptursachen der Idiotie angesehen werden. Dementsprechend soll auch nur die pathologische Anatomie die geeignete Führerin durch die verschiedenen Unterabteilungen der Idiotie sein können. Der von Sommer in seiner Diagnostik geschilderten sogenannten endogenen Idiotie (bei anatomischer Intaktheit des Gehirnes) gegenüber empfiehlt man eine gewisse Skepsis und abwartendes Verhalten. Ich persönlich bin durchaus der Ansicht, daſs gerade diese endogene Form der Idiotie (bei anatomischer Intaktheit des Gehirnes) die bei weitem häufigste ist, allerdings nicht unter den Idioten der Idiotenanstalten, sondern unter denjenigen Idioten, welche frei umherlaufen und körperlich in jeder Beziehung durchaus normal gestaltet sind. Der Schlüssel zum Verständnis solcher endogen Idiotischer, welche bei näherer psychologischer Untersuchung ebenfalls die merkwürdigsten umschriebenen Defekte und auch einseitige Begabungen aufweisen können, liegt meines Erachtens in der Tatsache, daſs wohl jeder geistesgesunde Mensch bestimmten Gebieten gegenüber durchaus Idiot ist. Nur wird man nicht annehmen dürfen, daſs solchen umschriebenen psychischen Defekten bei Geistesgesunden irgend etwas anatomisch Nachweisbares zugrunde liegt. Wer will sich erkühnen, das Gehirn eines musikalisch Begabten von einem Unmusikalischen, oder überhaupt eines Hochintelligenten von einem Dummen zu unterscheiden? Ebenso wie man bei den Defekten normaler Menschen ein anatomisch intaktes Gehirn erwarten darf, ebenso läſst sich wohl, glaube ich, die Vermutung aussprechen, daſs die sogenannten endogenen Idioten ebenfalls ein anatomisch intaktes Gehirn besitzen. Ich gedenke, später eingehender auf dieses Thema zurückzukommen.

Quadranten hindurch, — Bewegungen, welche ganz ohne den Willen der Versuchspersonen geschehen. Diese erklären, einen Zug am Arm (Bein) nach oben oder unten zu verspüren, dem sie nachgeben müssen. Derartige Versuche sind ein aufserordentlich anschauliches Beispiel für experimentell erzeugte Sinnestäuschungen im Muskelsinn bei Normalen.

Im folgenden gebe ich von drei Versuchspersonen (Ärzten), welche diese Unstetigkeit im höchsten Grade zeigten, einige Aufzeichnungen wieder, die ich während der Versuche gemacht habe.

1. Herr Dr. R. (Verschiedene Versuche an Arm und Bein.) Die Extremität ist schwer in horizontaler Stellung zu äquilibrieren. Nachdem dies annähernd gelungen ist, wird durch Wegnahme des 1400 g-Gewichtes das Bein zum Sinken gebracht. Es sinkt bis zu einem Winkel von 45°. Alsbald beginnen die spontanen Bewegungen desselben. Das Bein ist andauernd in Bewegung, bald mehr gleichmäfsig, bald schnellend und stofsweise.

Das Bein wird mit 1 kg überlastet; es befindet sich nun nicht mehr im Gleichgewicht, sondern ist zu schwer. Aber auch so kommt es noch zu spontanen Bewegungen, mit Exkursionen vom rechten Winkel bis zu 55° nach oben. —

Täuschungen in der Abschätzung der Winkelstellung des Beines kommen auch hier im erheblichsten Mafse vor; eine Winkelstellung von 30° wird als Horizontalstellung des Beines geschätzt usw. Liefs ich dagegen diese spontanen Bewegungen aktiv nachmachen, so geschah dies mit merkwürdiger Genauigkeit; der Fehler betrug nur 2 bis 3°.

Arm wie Bein wurden je 1½ Stunde im Apparat gelassen; die spontanen Bewegungen waren andauernd die gleichen. Trotzdem hierdurch eine erhebliche Arbeit geleistet wurde, fehlte bei Beendigung des Versuches auch das geringste Ermüdungsgefühl, oder irgend eine andere abnorme Sensation.

2. Herr Dr. E. Die spontanen Bewegungen stellen sich sofort bei Beginn des Versuches ein und erhalten bald eine grofse Regelmäfsigkeit; auf der rotierenden Trommel entsteht eine wellenförmige Linie mit steilem Anstieg und Abfall. (Figur 2.) Rechenoperationen verstärkten gewöhnlich die Bewegungen.

Starke Fehler in der Schätzung der Lage und Winkelstellung der Extremität. Bei einem Winkel von 25° wird das Bein für überstreckt, bei einem Winkel von 55° für rechtwinkelig gehalten.

Alle Bewegungen geschehen ohne jede bewufste Willenszutat. Herr Dr. E. versichert auf das Bestimmteste, dafs er sich mit dem Versuche gar nicht beschäftige, sondern nur das Bestreben habe, das Bein passiv zu lassen. Er fühle am Bein den Zug nach oben oder unten, dem er nachgeben müsse. Dabei ist Herrn Dr. E., wie auch den anderen Versuchspersonen, die Einrichtung des Apparates durchaus bekannt, ebenso die Tatsache, dafs während ihrer spontanen Bewegungen die Belastung des

Apparates nicht geändert wird. Von einer suggestiven Beeinflussung kann keine Rede sein.

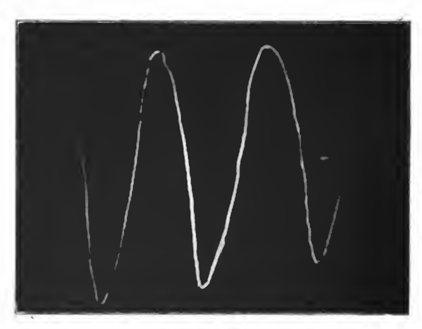


Fig. 2.

Der Versuch, den Arm horizontal passiv auf die Wage zu legen (siehe oben) gestaltete sich folgendermafsen: Die Wage zeigt anfangs 1,5 kg Belastung an; nach etwa 1 Minute 2 kg; dann Schwanken zwischen 1,75 und 2 kg. Der Zeiger der Wage zittert beständig, was darauf hinweist, dafs der Arm nicht ruhig liegt. Die Wage zeigt allmählich zunehmende Belastung an (2,5 kg). Subjektiv: „Jetzt sinkt der Arm". (Die Versuchsperson kann das Zifferblatt der Wage nicht sehen.) Die objektive Bewegung des Armes und der Wagschale ist dabei selbstverständlich minimal. Ständig zeigt die Wage Belastungsschwankungen bis 250 g an, denen zweifellos Spannungsänderungen in den Armmuskeln zugrunde liegen müssen, von denen die Versuchsperson aber keine Empfindung hat. Der Versuch wird abgebrochen, nachdem die Belastung der Wage auf 3 kg gestiegen ist. Hiermit hat sich die Kraft, welche auf die Wage drückt, verdoppelt, ohne dafs dies der Versuchsperson zum Bewufstsein kommt; vielmehr glaubte diese ständig, den Arm völlig passiv zu lassen.

3. Herr Dr. B. Beginn des Versuches ebenso wie bei Nr. 2. Bei Wegnahme des 1400-g-Gewichtes senkte sich das Bein aber nicht (wie bei den meisten Menschen) bis etwa 35°, sondern nur 5° unter die Horizontale, um alsbald in einzelnen Stöfsen sich wieder zur Horizontale zu erheben. Dann senkt sich das Bein. Subjektiv: „Es zuckt das Bein". Nun stellen sich ebenfalls die spontanen Bewegungen ein, die z. T. mit grofser Kraft geschehen, aber völlig ungewollt sind. Oft befragt, erklärt die Versuchsperson stets, das Bein absolut passiv zu lassen und nicht an den Versuch zu denken. Die kleinsten objektiven Bewegungen werden empfunden, aber stark überschätzt. Auch sonst starke Täuschungen in der Abschätzung der Lage und Winkelstellung des Beines. — Dauer des Versuches 1 Stunde, während welcher die spontanen Bewegungen ohne Unterbrechung andauerten.

Bei dem Versuch mit der Wage (siehe oben) zeigt die Wage 200 bis 400 g an; dann Ansteigen der Belastung auf 700 g und Zurückgehen zur früheren Höhe, alles ohne dafs die Versuchsperson nur die geringste Empfindung davon hat. Der Zeiger der Wage ist in ständigen Zitterbewegungen mit Ausschlägen bis zu 50 g.

Aufserhalb dieser Versuche ist an den Versuchspersonen in psychomotorischer Hinsicht nichts Auffallendes; manuelle Geschicklichkeit, Gang usw. ist wie bei anderen Menschen. Die Sprache des einen ist sehr hastig, seine Schrift klein und unleserlich, sein Temperament cholerisch, — die Sprache des anderen langsam, dessen Schrift grofs und deutlich, und das Temperament durchaus phlegmatisch. Alle drei Herren geben an, „nervös“ zu sein. Doch bin ich selbstverständlich weit davon entfernt, vorläufig zwischen dieser „Nervosität“ und dem geschilderten absonderlichen motorischen Verhalten während der Experimente einen kausalen Zusammenhang zu suchen, so dafs man vielleicht durch eine derartige Untersuchung imstande wäre, eine Diagnose auf „Nervosität“ zu stellen. Denn der nächste Tag könnte mich belehren, dafs ganz das gleiche motorische Verhalten während der Versuche auch vorkommen kann bei einem geistesgesunden Menschen ohne jede „Nervosität“.

Mit dieser Schilderung sind die individuellen Eigentümlichkeiten, wie sie bei den Versuchen mit äquilibrierter Extremität anzutreffen sind, nun keineswegs erschöpft. So habe ich, leider nur einmal, einen anderen Herrn, Mediziner im Staatsexamen und ebenfalls sehr „nervös“, untersuchen können, dessen Bein, trotz der Aufforderung, dasselbe passiv zu lassen, eine Anzahl meist stofsartiger spontaner Bewegungen ausführte, welche aber — im Gegensatz zu allen übrigen untersuchten Personen — von dem betreffenden Herrn überhaupt nicht empfunden wurden; vielmehr glaubte der Betreffende, das Bein sei völlig bewegungslos. —

Es ist also hiermit bewiesen, dafs dieselben Versuche (mit äquilibrierter Extremität) bei den verschiedenen, völlig geistesgesunden und intelligenten Versuchspersonen, zu ganz verschiedenen Reaktionen führen. Die Mehrzahl der Menschen vermag ihre Muskeln genügend zu entspannen, so dafs z. B. ein Normaldiagramm aufgezeichnet werden kann, welches stets die gleichen charakteristischen Eigentümlichkeiten aufweist. Bei allen diesen Personen läfst sich auch die sogenannte Nachwirkung nach-

weisen (vorhanden ist sie wohl stets im lebenden Muskel); und damit sind auch die peripheren Bedingungen dafür gegeben, dafs die Nachwirkungsempfindung ebenfalls zum Bewufstsein gelangen kann (Gruppe I). Andere Menschen vermögen die gleichen Muskeln nicht zu entspannen; diese Muskeln entwickeln, ohne dafs es der Person zum Bewufstsein kommt, die kolossale Kraft bis zu 40—50 kg, wo die Mehrzahl der Menschen blofs 13 kg entwickelt (Gruppe II). Bei noch anderen Menschen gerät das äquilibrierte — also der Einwirkung der Schwerkraft entzogene — Bein in dauernde spontane Bewegungen (Gruppe III).

Das Verhalten des Bewufstseins allen diesen objektiv darstellbaren motorischen Besonderheiten gegenüber ist ein ganz eigenartiges. Fast stets zeigten sich irgend welche Differenzen zwischen der tatsächlichen Bewegung oder Muskelleistung, und den davon in das Bewufstsein tretenden Empfindungen. Diese Empfindungen täuschen über die Wirklichkeit; man kann sie deshalb als „Sinnestäuschungen im Muskelsinn" bezeichnen:

1. Von der objektiv vorhandenen Nachwirkung tritt eine derart starke Empfindung in das Bewufstsein, dafs die Bewegung um ein vielfaches verstärkt erscheint. Vermutlich sind auch die bei den Versuchen zu konstatierenden groben Täuschungen bezüglich der Lage und Winkelstellung der Extremität auf diese Sinnestäuschungen zurückzuführen.

2. Bei den „Unsteten" (Gruppe III) kann man insofern von Sinnestäuschungen sprechen, als die Betreffenden glauben, dafs ihre Extremitäten bewegt werden, während die Bewegung der Glieder aktiv geschieht.

3. Von dieser Aktivität der Muskelleistungen kommt aber weder bei den Unsteten, noch bei den „Bremsern" dem Betreffenden etwas zum Bewufstsein, — also auch hier, wenn man will, Sinnestäuschungen.

Man hat viel geschrieben über „Muskelfunktion und Bewufstsein" und hat in manchmal geistreicher Weise leichte, luftige Phantasiegebilde aufgeführt. Aber ich meine, dafs es in erster Linie notwendig sei, sich zu fragen, was eigentlich überhaupt bei der Muskelfunktion in das Bewufstsein tritt, — eine Mahnung, die aus folgenden Sätzen der Arbeit von RIEGER klingt.[1]

---

[1] *Diese Zeitschrift* **31**, S. 42 u. 43.

„Obgleich ich nur mit den einfachsten Begriffen von elastischer Zugkraft operiert habe, so mufs doch schon aus den schlichten Tatsachen, die ich dabei an das Licht gebracht habe, auch jedem denkenden Psychologen klar werden: dafs, zwischen der Wirklichkeit der äufseren Welt und dem, was wir über diese Wirklichkeit sagen können, Kräfte in unserem Muskelsystem eingeschaltet sind, deren Bedingungen wir zuerst genau kennen müssen, ehe wir weiteres behaupten können über die Beziehungen der äufseren Wirklichkeit zu dem, was der Mensch über diese Wirklichkeit sagen kann. —

.... Und nunmehr ergibt sich für die Frage: Was wir von der äufseren Wirklichkeit wahrnehmen? das ganz bestimmte Problem: wonach urteilen wir? nach den jeweiligen Zuständen der elastischen Kraft innerhalb unserer Muskeln? oder nach dem, was aufserhalb des Körpers wirkt?“

Zu der Frage nach den Beziehungen zwischen Muskelfunktion und Bewufstsein sollen auch die oben gebrachten kurz geschilderten Beobachtungen einen bescheidenen Beitrag liefern. Vielleicht offenbart sich in der „Nachwirkungsempfindung“ — wenn auch derartige Sensationen für gewöhnlich stets unter der Schwelle des Bewufstseins bleiben —, eine Einrichtung des Organismus, die für unseren gesamten Bewegungsapparat von grofser Bedeutung und Zweckmäfsigkeit ist, wenn sie auch unter Umständen durch Täuschungen über die Lage der Glieder störend wirken kann. Vielleicht ist auch das, was an den Muskeln als „Nachwirkung“ in die Erscheinung tritt, überhaupt eine Eigenschaft der lebenden Substanz, und auch des Gehirnes. Doch kann hier nicht die Spekulation aufklären, sondern nur das geduldige und andauernde Experimentieren.

Nur das glaube ich jetzt schon bestimmt behaupten zu dürfen, im Gegensatz zur herrschenden Meinung: Lediglich, oder vorwiegend durch die Sensibilität der bewegten Teile treten Lage- und Bewegungsempfindungen nicht in unser Bewufstsein; vielmehr haben Empfindungen von Vorgängen im bewegenden Muskel selbst einen hervorragenden Anteil am Zustandekommen unserer „Lage- und Bewegungsvorstellungen“. —

Ich kann diese Arbeit nicht abschliefsen, ohne noch kurz an die Muskelzustände zu erinnern, die man bei der, Katatonie genannten, Geisteskrankheit findet. Die Frage, welche sich bei der Untersuchung Katatonischer immer wieder aufdrängen mufs, hat RIEGER[1] formuliert:

[1] Festschrift zu der Feier des 50jähr. Bestehens der unterfränkischen Heil- und Pflegeanstalt WERNECK. Jena, Fischer 1905. S. 30.

„Ist der Mensch starr, gerade so wie ein anderer epileptisch ist, ohne dafs er irgend etwas denkt, was als „Motiv“ der Starrsucht betrachtet werden könnte? Ist die Starrsucht einfach ein direktes motorisches Symptom?

Oder:

hat der Starrsüchtige Wahnideen, die als „Motive“ betrachtet werden dürfen?“

Und zwar vielleicht Wahnideen, welche, zum Teil wenigstens, aus Halluzinationen im Gebiete des Muskelsinnes entspringen?[1]

Von den vielen Beispielen, die ich hier bringen könnte, führe ich einige Stellen aus der Krankengeschichte eines vierzigjährigen Katatonikers an, welcher früher sehr intelligent gewesen war und auch zur Zeit der Beobachtung noch keineswegs blödsinnig genannt werden konnte; zuweilen war eine ganz normale Unterhaltung mit ihm möglich. In der Krankengeschichte finden sich nun folgende Angaben: Bis zum Schlufs des Aufenthalts war er in stets gleichem Negativismus in bezug auf Defäkation und Urinentleerung. Es gelang fast niemals zu erreichen, dafs er in das Klosett defäzierte oder urinierte. Für den Urin gab man sich auch viele Mühe mit einem Gummirezipienten; er rifs ihn aber fast immer weg. — Wenn man aus ihm herausbringen wollte: ob er für diese konsequenten Verunreinigungen ein Motiv habe?, — so gelang es nie, aus seinem Munde eine Rede zu bekommen, die in dieser Richtung eine Aufklärung hätte geben können. Sondern in der Regel sagte er: Das sei nicht wahr; er lasse Kot und Urin nicht in das Bett und in die Kleider gehen. —

Er hatte auch katatonische Haltungen, für die jede ausreichende Erklärung fehlt. Im Bett legte er fast nie den Kopf auf das Kissen. Sondern er hielt den Kopf immer in die Höhe. Die Musculi sterno-cleido-mastoidei sind immer stark gespannt. Wenn er aufser Bett ist, ist seine Haltung gleichfalls eine ganz auffallende und unnatürliche. Auch zieht er meist die eine Schulter höher, als die andere und macht deshalb einen ganz schiefen Eindruck.

Trotz allem, was gedruckt wurde: „Zur Psychologie der katatonischen Symptome“ usw., ist die oben aufgeworfene Frage bis jetzt noch in keiner Weise irgend wie befriedigend entschieden. Man spricht von „Lagevorstellung“ und „Bewufstseinsfeld“ bei Katatonischen und „erklärt“ damit katatonische Symptome wie die Katalepsie usw. Aber was weifs man von „Lagevorstellungen“ und „Bewufstseinsfeld“ bei Katatonischen?

Hätte jemand die oben beschriebene „Unstetigkeit“ meiner Versuchspersonen zufällig zuerst bei Katatonischen beobachtet, so hätte er gewifs genügend Grund gefunden, dies als krankhaft und als katatonisches Symptom, als „experimentell hervorgerufene

---

[1] Vgl. Cramer: Die Hallucinationen im Muskelsinn. Freiburg 1889.

Bewegungsstereotypie“ anzusehen. So aber fand sich diese Stereotypie bei völlig Geistesgesunden und intellektuell Hochstehenden. Wir sind noch lange nicht so weit, abnorme Muskelzustände Katatonischer „leicht“ zu verstehen; denn sogar die Muskelzustände der Normalen widersetzen sich vorläufig noch einer befriedigenden Erklärung.

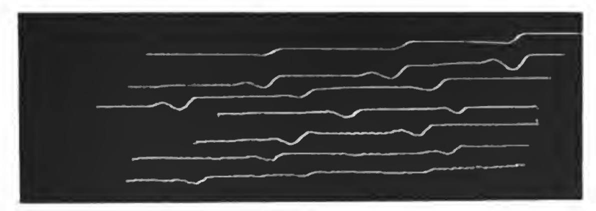


Fig. 3.



Fig. 4.

Untersucht man Katatonische auf die passiven Bewegungen ihrer äquilibrierten Extremitäten, so läfst sich sehr oft, ja nach den bisherigen Erfahrungen regelmäfsig, folgendes feststellen: Während bei Normalen, welche das Bein genügend passiv zu lassen vermögen, durch das Wegnehmen einzelner Gewichte an der rotierenden Trommel eine stufenförmige Figur entsteht, etwa folgendermafsen:



so bleibt bei Katatonischen die Extremität, trotz der Gewichtsverminderung, in gleicher Höhe; die Kurve sinkt nicht (erste Linie der Figur 3); aufserdem besteht die Tendenz, das vorüber-

gehende Sinken der Extremität (infolge des Wegnehmens einzelner Gewichte) durch ein gewisses elastisches Federn wieder mehr oder weniger auszugleichen. So entstehen in den Kurven die kleinen Einsenkungen, von denen die Figur 3 viele bringt.[1] Die Kurven der Figur 3 stammen von einem Katatonischen, welcher aus einem $1^1/_2$ jährigen Stupor erwacht und scheinbar wieder ganz normal war. Er hatte noch etwas katatonische Körperhaltung und Andeutung von Katalepsie. — Die auf einigen Kurven der Figur 3 sichtbaren Zitterbewegungen sind vielleicht als beginnende Ermüdungserscheinungen zu betrachten; denn das Bein mufste schliefslich stark belastet werden, damit die Kurven die gewünschte Höhe erhielten. Dieses belastete Bein hielt der Kranke gegen Ende des Versuches nach Art der „Bremser" aktiv; bei den obersten Kurven der Figur 3 war dagegen das Bein noch völlig äquilibriert.

Ganz ähnliche Figuren, wie Figur 3, kann man sehr leicht willkürlich nachahmen, wenn man der im Apparat äquilibrierten Extremität eine bestimmte federnde Elastizität willkürlich gibt. Die Kurve der Figur 4 ist von mir nachgeahmt worden.

---

[1] Diese Einsenkungen sind nicht zu verwechseln mit dem, was Ermes (Inaug. Dissert. Giefsen 1903) u. a. beschreibt, um „den Negativismus zur Darstellung zu bringen". Die Kranken von Ermes hielten das Bein aktiv, während bei diesem Kranken hier das Bein äquilibriert ist.

(Eingegangen am 16. Januar 1907.)

(Aus der physikalischen Abteilung des physiologischen Instituts zu Berlin.)

Versuche mit Eisenbahn-Signallichtern an Personen mit normalem und abnormem Farbensinn.

1. Mitteilung.

Von
Professor W. A. Nagel.

In der seit der Einführung der neuen Prüfungsmethode für den Farbensinn entstandenen Diskussion ist wiederholt die Ansicht geäufsert worden, die Ausscheidung der anomalen Trichromaten aus dem Eisenbahn- und Marinedienst stelle eine unnötige Härte dar; teils habe ich diesen Einwurf mündlich zu hören bekommen, teils wurde er auch in der fachwissenschaftlichen Literatur angedeutet. Einzelne, allerdings vorzugsweise Nicht-Mediziner, gehen sogar so weit, die Gefährlichkeit der Dichromaten im Eisenbahn- und Marinedienst zu bezweifeln.

Das hiermit bekundete Interesse an der praktischen Bedeutung der angeborenen Farbensinnsstörungen, das in den letzten zwei Jahrzehnten fehlte oder doch ziemlich latent war, kann nur als äufserst erfreulich bezeichnet werden, auch wenn man in der Sache selbst den geäufserten Meinungen nicht zuzustimmen vermag. Obgleich ich ganz vor kurzem erst die wichtigsten Gründe auseinandergesetzt habe, die mich bestimmten, der Einbeziehung der anomalen Trichromaten unter die „Farbenuntüchtigen" das Wort zu reden, möchte ich doch nochmals zur gleichen Frage Mitteilungen machen, die manchen zu überzeugen geeignet sein dürften, der meiner Anschauung bisher skeptisch gegenüberstand. Es handelt sich dabei im wesentlichen um Versuche, wie sie in den Verhandlungen mit der Kgl. preufsischen Eisenbahndirektion Berlin und den Medizinalabteilungen des

Kriegsministeriums und des Reichsmarineamts diesen Behörden mitgeteilt und teilweise demonstriert wurden.

Da es mir vor allem darauf ankommt, dafs die Herren Kollegen, die von Amts wegen Farbensinnsprüfungen nach meinem Verfahren vorzunehmen haben, dies nicht nur unter dem Zwang der amtlichen Verordnung, sondern zugleich in der Erkenntnis der Notwendigkeit der neuen Grundsätze tun, habe ich mit verbesserten Einrichtungen neue Versuche gemacht und regelmäfsig protokolliert. Ich wage zu hoffen, dafs diese Versuche selbst den Skeptischsten von der „Farbenuntüchtigkeit" der Anomalen überzeugen werden, ganz zu schweigen von der Unbrauchbarkeit der Dichromaten für den Eisenbahn- und Marinedienst.

Die Bedenken gegen die Ausschaltung der Dichromaten und (neuerdings) der anomalen Trichromaten gründen sich auf zwei angebliche Tatsachen: 1. dafs keine Unfälle bei Eisenbahn und Schiffahrt durch sie herbeigeführt worden seien, 2. dafs die nach den üblichen Proben als farbenblind bezeichneten Personen bei der Prüfung „auf der Strecke", d. h. mit den wirklichen Eisenbahn- oder Schiffssignalen, die verlangte Farbenunterscheidung fehlerlos zu machen vermochten.

Auf den ersten Punkt gehe ich hier nicht näher ein, verweise vielmehr auf meine darauf bezüglichen Bemerkungen in der *Zeitschrift für Sinnesphysiologie* **41**, Heft 4, wo die Gründe auseinandergesetzt sind, warum nur in verhältnismäfsig wenigen Fällen die Zurückführung der Katastrophen auf Farbensinnsstörungen mit Sicherheit geschehen könnte und kann, ohne dafs darum die Farbenblindheit wirklich so harmlos wäre, wie es manchem scheinen könnte.

Etwas näher aber verdient der zweite Punkt noch beleuchtet zu werden, auf den sich namentlich die Nächstbeteiligten, die an der Eisenbahn oder in der Marine Angestellten, immer und immer wieder berufen. Typisch und vom Standpunkt ihres Verfassers ganz begreiflich ist eine Angabe in einem Artikel über Farbensinnsprüfung in der deutschen nautischen Zeitschrift „Hansa" 1906, Nr. 39, Sept. Es heifst dort: „Ein Universitätsprofessor in Rostock, Augenarzt und Mitglied der Kommission dort für zweite Untersuchungen, pflegte Seeleuten, welche nicht Wollbündel von roten und grünen Farben sicher unterscheiden konnten, wohl aber solche Schiffslaternen, ein Zeugnis über ge-

nügendes Farbenunterscheidungsvermögen zu geben und ihnen zu sagen: „Fahren Sie ruhig weiter zur See, aber werden Sie nicht Wollhändler!“

Der Eindruck, den eine solche, in ihrer Authentizität wohl kaum zu bezweifelnde Äufserung eines „Sachverständigen“ oder wohl gar Ober-Begutachters in den Kreisen der Seeleute macht, mufs nicht gering sein. Erscheint es doch vielen Laien, und auch nicht ganz wenigen Fachmännern als das natürlichste, die Leistungen des Farbensinns an denjenigen Lichtern zu erproben, die der betreffende Angestellte oder Anzustellende in der Ausübung seines Berufes zu unterscheiden hat, also mit anderen Worten an Signallaternen und Signalen, die den bei Tage gebrauchten ähnlich oder gleich sind. Die Schwierigkeit hierbei ist nur die, dafs die Prüfung unter gleichen Bedingungen erfolgen müfste, wie sie „auf der Strecke“ vorliegen. Betrachten wir einmal die bei Untersuchung auf der Strecke möglichen Fälle etwas näher.

1. Setzen wir den Fall, es werden einem Manne von Durchschnittsintelligenz und guter Sehschärfe, der zur Eisenbahn will und sich in Voraussicht der Farbensinnsprüfung gewifs die Eisenbahnsignallichter öfters genau angesehen hat, zum Zwecke der Prüfung rote und grüne gutbrennende Eisenbahnsignallaternen auf 100 m Distanz in unregelmäfsigem Wechsel gezeigt, so ist die Wahrscheinlichkeit, dafs er in der Benennung der Farben einen Fehler macht, äufserst gering, auch wenn der Mann Farbenblinder oder Anomaler ist. Ich würde erwarten, dafs unter 100 Fragen kaum eine falsch beantwortet würde.

2. Nehmen wir aber einen Mann an, der nichts mit Eisenbahn- und anderen Signallichtern zu tun gehabt hat, gleiche Intelligenz und gleiche Sehschärfe wie jener erstangenommene hat, so ist bei einer unvermutet vorgenommenen Prüfung in gleicher Art wie bei 1. die Wahrscheinlichkeit schon beträchtlich, dafs ein Farbenblinder oder Anomaler fehlerhafte Angaben macht, sei es, dafs er das Rot gelb, oder das Grün weifs, gelb oder blau nennt. Bei 100 Fragestellungen würden mit grofser Wahrscheinlichkeit, namentlich bei den ersten Fragen, mehrere Verwechslungen vorkommen. Übung und Kenntnis der bei der Prüfung vorkommenden Farben ist also

zum fehlerlosen Bestehen einer derartigen Prüfung von gröfster Bedeutung.

3. Würde aufser Rot und Grün auch die gewöhnliche Eisenbahnlaterne mit weifsem Glase verwendet werden, so würde die Wahrscheinlichkeit der Fehler bei abnormem Farbensinn in den Fällen 1 und 2 merklich steigen.

4. Würden die Signallaternen Weifs, Rot und Grün auf 500 bis 600 m Entfernung zur Beurteilung gezeigt, so würde bei Farbenblinden und Anomalen der Prozentsatz der Fehler schon auf mehrere Prozent steigen.

5. Würden die Signallaternen Rot, Grün, Weifs nicht immer in der gleichen Helligkeit und der gleichen Entfernung, sondern in verschiedener Leuchtkraft und unter verschiedenem Gesichtswinkel gezeigt, so würden bei den meisten Farbenblinden die richtigen und falschen Angaben sehr nahe an diejenige Grenze der Wahrscheinlichkeit herankommen, die auch beim blofsen Raten ohne Hinsehen erreicht wird. Bei Anomalen wären die Fehler nicht so zahlreich, aber immerhin nicht selten.

6. Würden die Signale des Falles 5 immer nur auf relativ kurze Zeit, einige Sekunden, sichtbar sein, ehe die Entscheidung über die Farbe erfolgen mufs, so würde bei einem Farbenblinden der Prozentsatz der richtigen Angaben ziemlich genau mit demjenigen zusammenfallen, den er durch blofses Raten, ohne die Signale überhaupt anzusehen, erzielen würde. Die Wahrscheinlichkeit wäre, da es sich um 3 Farben handelt, $^1/_3$. Ebenso grofs wäre sie bei einem völlig Blinden. Nur um weniges besser steht es bei Anomalen.

7. Nehmen wir den Fall an, dafs statt eines einzigen Lichtsignales mehrere nebeneinander sichtbar seien, so wird für den Farbenblinden unter den sonstigen Bedingungen der Fälle 1 bis 6 die Wahrscheinlichkeit falscher Angaben kaum erhöht, eher vielleicht um ein ganz geringes vermindert. Für den Anomalen tritt dagegen mit der Nebeneinanderstellung mehrerer Lichter eine neue Fehlerquelle auf, der abnorme Farbenkontrast; die Wahrscheinlichkeit falscher Angaben steigt für den Anomalen bei Nebeneinanderstellung mehrerer farbiger Lichter bedeutend.

Es würde ein überflüssiger Aufwand von Zeit und Arbeit dazu gehören, alle diese 7 Sätze mit experimentellen Beweisen zu belegen. Interesse bietet nur der allgemeine Nachweis, dafs es Bedingungen gibt, unter denen Farbenblinde und Anomale, nicht aber Normale leicht die Farbensignale verwechseln, und zwar Bedingungen, die im praktischen Eisenbahn- und Schiffsdienst häufig vorkommen:

Der Farbenblinde, der die rote, grüne und weifse Laterne, wenn sie gleich hell brennen und in gleicher, mäfsiger Entfernung (100 m) gesehen werden, fehlerlos unterscheidet, macht Fehler, wenn die Laternen weiter entfernt sind, wenn sie ungleich weit entfernt sind, wenn die Flammen ungleich hell brennen, wenn die Gläser ungleich rein sind, wenn er nur eine verhältnismäfsig kurze Zeit zur Fällung seines Urteils hat.[1]

Der Anomale macht in solchen Fällen ebenfalls unter Umständen Fehler, wenn auch namentlich bei Rot etwas seltener als der Farbenblinde.

Der Lokomotivführer auf der dahinsausenden Schnellzugslokomotive mufs in vielen Fällen wenige Sekunden nach dem Erblicken eines farbigen Signals wichtige Mafsnahmen treffen; er wird mit seiner Maschine an Signallaternen vorbeifliegen, deren Gläser soeben frisch geputzt sind und deren Flammen hell brennen, er wird vielleicht unmittelbar danach Signale treffen, deren Gläser verräuchert sind, deren Lichter trübe brennen oder durch Nebeldunst verschleiert sind; er mufs sie auf lange

---

[1] Ein interessantes Licht auf die Laternenprüfung wird durch die Untersuchungen von Dr. Stadfeldt in Kopenhagen geworfen, der zahlreiche Seeleute, die mit Signallaternen geprüft und normal befunden waren, mit ebensolchen sorgfältig nachgeprüft und nach anderen Methoden untersucht hat. Wie Dr. A. Krogh in seiner Arbeit: „Nyere Undersögelser over Farveblindhed og abnorm Farvesans og deres praktiske Betydning“, in: Dansk Söfartstidende 13. Aarg. No. 43—44, mitteilt, hat St. unter 295 Steuerleuten 17 mit mangelhaftem Farbensinn gefunden, von denen 11 auch bei seiner Prüfung mit Laternen ihre Abnormität erkennen liefsen.

Man sieht also, auch mit der Laternenprobe kann man wohl einzelne Farbenuntüchtige entlarven, aber es gehört eine gründliche Untersuchung durch einen erfahrenen Spezialisten dazu, und viel mehr Zeit als die Ärzte zur Untersuchung auf Farbenblindheit aufwenden können, die solche Prüfungen von Amts wegen zu machen haben.

Man vergleiche hierzu A. Stadfeldt, Om Synspröver for Sömaend-Bibliothek for Laeger. 8. R. VII. 1906.

Strecken, manche auf 1/2 Kilometer Entfernung mit Sicherheit erkennen, weil er seinen Zug mit der gewöhnlichen Bremse kaum auf kürzere Entfernung zum Stillstand bringen kann.

Wie anders sind hier die Bedingungen, als wenn man ihn „an der Strecke prüft“, d. h. ihm nacheinander einige Male eine rote und einige Male eine grüne Laterne zeigt, womöglich beide immer in gleicher Entfernung, in gleich bleibender Helligkeit und mit beliebig langer Beobachtungszeit!

Auch die Bedingungen, unter denen der Seemann bei Nacht Farbensignale erkennen mufs, sind unendlich ungünstiger als bei dieser einfachen Prüfung mit Laternen. Auch er mufs Signale unter ganz kleinem Gesichtswinkel schnell erkennen, auch für ihn ist es unter Umständen verhängnisvoll, wenn er trübe brennende Laternen mit weifsem Glase mit einer roten oder grünen Laterne verwechselt, oder wenn er gar die beiden Positionslaternen eines Schiffes nicht sicher voneinander unterscheidet. Die Positionslaternen eines Seedampfers müssen bei klarem Wetter für ein normales Auge auf 1 Seemeile = 1,8 km sichtbar und in ihrer Farbe erkennbar sein.

Ein phantastischer Vorschlag ist es, der auf Grund ähnlicher Überlegungen wie der vorstehenden kürzlich gemacht wurde, wenn ich nicht irre in einer englischen Zeitschrift: Der Farbensinn der Beamten soll auf einer kurzen, extra zu diesem Zweck erbauten Probestrecke während der Fahrt erprobt werden. Die Strecke sollte, wenn ich mich recht erinnere, einen Kilometer oder eine englische Meile lang sein!

Derartige Ideen können natürlich nicht ernstlich erwogen werden. Mir scheint überhaupt die Möglichkeit zu fehlen, die Untersuchung an wirklichen Eisenbahnsignalen praktisch durchzuführen (auch wenn man von der Prüfung im fahrenden Zug absieht), denn wenn die Untersuchung wirklich die Farbenblinden und gar noch die Anomalen herauszufinden gestatten sollte, müfste eine sehr umständliche Versuchsanordnung getroffen sein: mehrere ungleich weit entfernte Gruppen von roten, grünen und weifsen Laternen müfsten vom Aufstellungsplatze des Untersuchers und des Untersuchten aus schnell in beliebigen Kombinationen und auf beliebig lange Zeit zum Aufleuchten gebracht werden können. Geschähe die Signalveränderung direkt auf elektrischem Wege, also ohne Verzögerung durch telephonischen oder telegraphischen Verkehr, so dürfte ein erfahrener Unter-

sucher wohl in 10 bis 15 Minuten Sicherheit über die Art des vorliegenden Farbensinns gewinnen können. Wie stöhnen viele der Herren heute schon über die Notwendigkeit, bis zu 2 Minuten für die Farbenuntersuchung des einzelnen aufwenden zu müssen!

Dafs ein solches gutes Verfahren „auf der Strecke“ zur allgemeinen Einführung nicht kommen kann, liegt auf der Hand. Schon die sehr bedeutenden Kosten verhindern das. Wohl aber müfsten systematische Beobachtungen, mit Eisenbahnlichtern unter allen möglichen Vorsichtsmafsregeln unter Verwertung der neuesten Erfahrungen an Farbentüchtigen und Farbenuntüchtigen der verschiedenen Typen durchgeführt, ein nicht geringes Interesse bieten. Meines Wissens liegen solche bis jetzt nicht vor, und die Versuche, über die ich im folgenden berichten will, dürften also wohl einige Beachtung in den an der Frage interessierten Kreisen finden.

Das gemeinsame bei allen Versuchen, von denen diese Mitteilung handelt und von dem die ihr folgenden handeln werden, ist, dafs den Versuchspersonen stets nur solche Lichter zur Betrachtung geboten wurden, wie sie im praktischen Eisenbahndienst verwendet werden, nämlich rote, grüne und sog. „weifse“, d. h. das Licht einer künstlichen Lichtquelle ohne vorgesetztes farbiges Glas. Als Lichtquellen dienten gewöhnliche Kohlenfadenglühlampen, deren Licht dem Licht der Petroleumlampe qualitativ sehr ähnlich ist. Zur Färbung der Lichter dienten Stücke von Originalscheiben der Königl. preufsischen Staatseisenbahn, Rubinglas und das bekannte Blaugrün.

In der ersten Versuchsreihe, über die hier zunächst berichtet wird, war dafür gesorgt, dafs die Versuchspersonen die Lichter stets scharf, nicht verschwommen, sahen (— etwaige Myopen wurden korrigiert, Amblyopen überhaupt nicht verwendet) und dafs sie Gelegenheit hatten, die Signallichter beliebig lange zu betrachten, ehe sie aussagten, welche Farbe sie sahen. Stets waren die Signallichter hell auf dunklem Grunde, also wie beim nächtlichen Eisenbahnbetrieb.

Versuchsanordnung.

Die Versuchsanordnung war so gewählt, dafs sie dem Zwecke entsprach, die drei Eisenbahnsignallichter weifs, rot und grün in wechselnden Intensitäten und Feldgröfsen zu zeigen, ohne dafs

die Qualität des Reizlichtes durch die Intensitäts- und Feldgröfsenänderung beeinflufst wurde. Da nicht daran gedacht werden konnte, die Feldgröfsenänderung durch die Anbringung zahlreicher wirklicher Eisenbahnsignallaternen in Entfernungen von 100 bis 1000 m zu erreichen, mufsten die Verhältnisse so genau wie möglich nachgeahmt werden. Das geschah in folgender Weise:

In die Türe zwischen zwei Zimmer des physiologischen Instituts waren 3 Löcher von etwa 1 cm Durchmesser im Abstand von 12 cm gebohrt. Vor jedem dieser Löcher befand sich 1. eine drehbare metallene Scheibe, in die Stücke der bei der preufsischen Staatseisenbahn verwendeten roten und grünen Farbengläser eingelassen waren, aufser ihnen als drittes ein neutralgraues Rauchglas, das die Helligkeit des „weifsen“ Lichtes der des roten und grünen annähernd gleich machte, ohne den Farbenton des elektrischen Glühlichtes zu beeinflussen. Man konnte also jedes der 3 Löcher in jedem der 3 Lichter aufleuchten lassen, wenn sie von hinten her von einer Lichtquelle beleuchtet waren.

2. Vor der die Farbgläser tragenden Scheibe befand sich eine zweite runde Metallscheibe, in die 6 runde Löcher von 1, 2, 3, 4, 5 und 6 mm Durchmesser gebohrt waren, so dafs den farbigen Feldern diese 6 verschiedenen Gröfsen gegeben werden konnten. Auch konnte damit jedes einzelne Feld völlig verdeckt werden.

3. Hinter den farbigen Gläsern (also zwischen diesen und der Lichtquelle, konnten ein oder zwei Stücke von Mattglas eingeschoben werden. Die Einschiebung von einem setzte die Lichtintensität des betreffenden Signallichtes auf etwa $^1/_2$ bis $^1/_3$, die von zweien auf etwa $^1/_6$ herunter.

Der Beobachter safs 5 m von den Lichtpunkten entfernt in einem Zimmer, das so dunkel gehalten war, dafs er an keinerlei sekundären Merkmalen erkennen konnte, welche Farbe, welche Helligkeit und Feldgröfse eingestellt war.

Bei den gegebenen Verhältnissen mufste das farbige Licht bei Einstellung der gröfsten Blende von 6 mm Durchmesser dem Beobachter unter dem Gesichtswinkel von 4′6″ erscheinen. Der Gesichtswinkel der 6 Blenden ergibt sich aus folgender kleiner Tabelle:

Blende von	6 mm	Durchmesser	=	4′6″
„ „	5 mm	„	=	3′25″
„ „	4 mm	„	=	2′44″
„ „	3 mm	„	=	2′3″
„ „	2 mm	„	=	1′22″
„ „	1 mm	„	=	41″

Zum Vergleiche sei erwähnt, unter welchen Gesichtswinkeln (annähernd) die bei der Eisenbahn und Marine gebrauchten Signallaternen erscheinen. Genaue Angaben sind hier natürlich nicht möglich, da es sich niemals um gleichmäfsig erleuchtete Flächen bestimmter Gröfse handelt.

In der gewöhnlichen Signallaterne der Eisenbahn brennt eine Petroleumlampe hinter der nichtmattierten farbigen oder weifsen Glasscheibe, die kreisrund ist und einen verwertbaren Durchmesser von etwa 15 cm hat.

Als lichtaussendende Fläche darf jedenfalls nicht nur die Flamme selbst berücksichtigt werden, da rechts und links von dieser, an sie nicht direkt angrenzend, metallene Reflektoren angebracht sind. Auch wenn diese in bestem Zustande und spiegelblank geputzt sind, können sie doch nicht eine auch nur annähernd gleichmäfsige Helligkeit auf der ganzen Fläche des Farbenglases bewirken. Doch erreicht man das sicherlich auch nur erstrebte Ziel, die Lichtintensität durch Reflexion besser auszunützen und eine die Flammengröfse wesentlich übertreffende Gröfse des Leuchtfeldes zu erzielen, sehr gut. Setze ich für die Berechnungen des Gesichtswinkels, unter dem die Signale erscheinen, die Feldgröfse mit einem Durchmesser von 15 cm an, so ist damit die etwaige Ungenauigkeit ganz bestimmt zugunsten der Eisenbahnsignallaterne veranschlagt. In Wirklichkeit mufs der Gesichtswinkel etwas kleiner sein.

Unter der gemachten Voraussetzung würde eine Eisenbahnsignallaterne unter dem gleichen Gesichtswinkel wie das gröfste bei meinen Versuchen verwendete Feld (4,6′) gesehen werden, wenn sich der Beobachter 125 m von ihr entfernt befände. Das kleinste Feld (von 41″) würde einer Signallaterne in 755 m Abstand entsprechen. Ein Unterschied zwischen den in meinen Versuchen und im praktischen Eisenbahnbetrieb gegebenen Verhältnissen liegt insofern vor, als im ersteren Fall die Veränderung der Feldgröfse durch Blenden, im letzteren normalerweise (d. h.

wo nicht partielle Trübung der Glasscheiben und Blindwerden der Reflektoren in Betracht kommt) nur durch Entfernungsunterschiede bedingt wird. Es ist also der Verdunkelung der Signale durch verminderte Durchsichtigkeit der atmosphärischen Luft keine Rechnung getragen. Es konnte hierauf unbedenklich verzichtet werden, da sich ja nun der Beobachter an meinem Apparat wiederum (wie durch die eigentlich zu hohe Veranschlagung des Durchmessers der leuchtenden Fläche in den Eisenbahnlaternen) in günstigerer Lage befand, als der Beamte im Eisenbahnbetrieb. Fehler, die an meiner Prüfungsvorrichtung gemacht werden, würden unter den ungünstigeren Bedingungen des praktischen Betriebs nur noch sicherer gemacht werden.

Auf die Einflüsse, welche Trübungen der Atmosphäre durch Nebel, Rauch, Regen usw. auf die Sichtbarkeit der Signale dadurch ausüben, dafs die Lichter verschwommener, also in „Zerstreuungskreisen" gröbster Form gesehen werden, sowie auf den Einflufs der Beobachtungszeit komme ich in späteren Teilen dieser Publikation zurück.

Einige Worte sind noch über die auf Schiffen verwendeten Signallichter zu sagen. Für diese ist eine ganz bestimmte Sichtweite und Konstruktion vorgeschrieben.[1] Die hier allein interessierenden farbigen Positionslaternen der Seeschiffe müssen auf 2 Seemeilen oder etwas mehr als 3600 m sichtbar sein.

Die von Farbenglas umschlossenen Petroleumrundbrenner oder elektrischen Glühlichter sind aufserdem von einem polygonalen sog. tonischen Linsensystem umgeben und enthalten Reflektoren. Wie bei den Eisenbahnlaternen kann man nicht erwarten, dafs die ganze Linsenfläche als gleichmäfsig heller Lichtpunkt funktioniert, doch aber ein grofser Teil davon.

Die Höhe der Laternen soll 14 bis 18 cm betragen. Eine 18 cm hohe Positionslaterne würde auf 2 Seemeilen Entfernung unter dem Winkel von 10″ erscheinen; eine 14 cm hohe unter 8″ Gesichtswinkel.

Die kleinste Blende, unter der ich meinen Versuchspersonen die Lichter zeigte, entsprach also immer noch der Gröfse, in der eine Schiffspositionslaterne auf etwa 750 m erscheinen würde,

---

[1] Vgl. hierzu: Untersuchungen über Sichtweite und Helligkeit der Schiffspositionslaternen etc. ausgeführt von der Direktion der Seewarte, Hamburg 1894.

somit noch nicht einmal auf den vierten Teil der Entfernung, in der die Laternen erkennbar sein müssen.

Wenn ich diese Zahlen hier anführe, so geschieht es hauptsächlich um zu zeigen, dafs meine Versuchspersonen unter günstigeren Bedingungen die Signallichter beobachteten als sie in praxi bestehen, die Fehler also, die sie bei meinen Versuchen machten, unter den Verhältnissen des praktischen Dienstes um so sicherer gemacht werden würden. Überall, wo die Zahlen etwas gröfser oder kleiner, je nach Schätzung, gewählt werden konnten, habe ich sie in den oben stehenden Berechnungen so gewählt, dafs günstigere Verhältnisse für meine Versuchspersonen herauskamen.

Ich lasse nun einige Versuchsprotokolle folgen, die für das Verhalten der Farbenblinden und Anomalen typisch sind.

(Siehe Tabellen I—III auf S. 466—468.)

Die linke Kolumne gibt immer die gezeigten Farben an, durch die Anfangsbuchstaben *w*, *r* und *g* ausgedrückt, dazu die Blendenweite in Millimetern. Wo der Index 1 und 2 unter den Buchstaben steht, bedeutet das die Einschiebung von einer oder zwei verdunkelnden Mattglasscheiben.

Bemerkt mufs werden, dafs ich bei sämtlichen Versuchen die Beobachter vorher davon benachrichtigte, dafs die ihnen vorgezeigten Lichter stets nur zwischen den Eisenbahnsignallichtern weifs, rot und grün wechseln würden, und dafs das sog. „Weifs“ das in Wirklichkeit etwas gelbrötliche Licht elektrischer Glühlampen sei.

Über die Richtigkeit oder Unrichtigkeit ihrer Antworten wurden die Versuchspersonen erst nachträglich unterrichtet.

Besondere Versuchsprotokolle von Normalen mitzuteilen, wäre überflüssig, da bei den gegebenen Versuchsbedingungen, den gewählten Helligkeiten und Farben, Verwechslungen überhaupt nicht vorkommen, selbst nicht wenn die Helligkeit auf $^1/_{10}$ reduziert wird.

Läfst man einen ganz unbefangenen Normalen die Signallichter zum erstenmal ohne vorherige Erläuterung besichtigen und fragt ihn nach den Farben, die er sieht, so erkennt er das Rot sofort unter allen Umständen richtig. Bei Grün haben einzelne Personen anfangs gezweifelt, ob es Blau oder Grün sei,

Tabelle I.

Versuche an W. Nagel, Deuteranop (Grünblinder).

Versuch 1 Vpn.: W. Nagel		Versuch 4 Vpn.: W. Nagel		Versuch 3 Vpn.: W. Nagel		Versuch 17 Vpn.: W. Nagel	
gezeigt	genannt	gezeigt	genannt	gezeigt	genannt	gezeigt	genannt
w_2 6	r	w 3	w	r_1 5	r	w 7	g (w)
r_2 6	r	g_1 4	w	g_1 5	g	g 3	g
g_2 6	w	g_2 6	g	w_1 5	w	r 3	r
g 6	w	r_1 4	r	w_2 5	g	w 2	w
r 6	w	w_1 3	w	r_2 5	r	g 1	g
w 6	w	r 1	r	r_2 3	r	r 2	r
w 2	r	r_1 2	r	w_2 3	r	r 1	r
w 4	w	g_1 2	g	r_2 3	r	w 1	g (w)
w 1	r	w 2	g	g_2 3	w	r 1	r
g 1	w	r_2 6	r	g_2 4	g	g 4	g
w 1	r	w_1 5	g	r_2 4	r	r 4	r
r 1	r	g_1 6	w	w_2 4	r	g_1 4	g
r 5	r	r 5	r	w_2 2	w	g_2 2	r
r_2 5	r	w 3	w	w 2	w	w_2 2	w
g_2 5	w	g 4	w	r 2	r	w 2	w
g 5	w	w 4	w	g 2	g	r 1	r
g 6	w	r 4	r	g 1	w	r 3	r
r 6	r	g_1 3	g	r 1	r	g_2 2	g
r_2 6	r	g_2 3	g	w 1	w	w_1 4	w
w_2 6	w	r_2 2	w	w 3	w	r_2 2	r
w_2 2	r	w_1 2	r	g 3	g	r 2 r 2 w_2 2	r r w
w 2	r	g_1 6	w	r 3	r	g 3 r 4 w_2 1	g r r
w 3	w	r 2	r	w_1 3	g	r 3 g_1 1 w 5	r w w
w_2 3	r	w 1	r	g_1 3	g	r_1 5 w 4 g 2	r w g
w_2 5	r	g 1	g	g_1 3	g	w 1 g_1 2 g 2	r g g
w_2 6	w	g_1 2	g	r_1 3	w	r 3 w 1 g 1	r w g
w_1 2	r	r_1 5	r	r_1 3	r	r 1 w_2 3 g 1	r w g
w_1 3	w	w_1 4	w	g_1 3	r	w 3 g 6 g_2 3	w g w
w_1 4	w	w 2	w	g_1 4	g		
g 1	r	g 1	g	r_1 4	g		
g 2	w						
g 5	w						
usw.							
In Summa 15 Antworten richtig, 25 falsch.		In Summa 21 Antworten richtig, 9 falsch.		In Summa 21 Antworten richtig, 9 falsch.		In Summa 37 Antworten richtig, 7 falsch.	

Tabelle II.

Versuche an zwei anderen Dichromaten.

Versuch 16

Vpn.: G. S. (grünblind)

gezeigt	genannt
w 2	*g*
r 3	?*g*
r 6	*r*
g 6	*w*
w 6′	*g*
r 6″	*g*
r 6 *w* 6 *r* 2	*r* ? ?
g 6 *g* 3 *g* 4	*w g w*
r 6″ *r* 3 *g* 4	*r g w*
w 6″ *r* 3 *w* 5	*g r g*
r 6 *w* 6 *g* 6	*r g w*

Die 3 Farben werden ihm auf dem 6 mm-Feld gezeigt und ihre Namen genannt, dann Fortsetzung:

gezeigt	genannt
g 2	*g*
g 6	*g*
r 3	*w*
w 2	*w*
g 2	*g*
w 6′	*w*
r 6″	*w*

Versuch 7

Vpn.: Dr. Av. (rotblind)

(Lehnt anfangs jede Benennung als unmöglich ab, rät fast immer auf „rot“, sagt alle Lichter sehen „gelblich“ aus.)

gezeigt	genannt
r 6	*r*
w 5	*r*
g 6	*r*

usw.

Die 3 Farben werden ihm auf grofsem Feld gezeigt und benannt, dann Fortsetzung:

gezeigt	genannt
g 6	*g*
w 5	*r*
w 6	*r*
g_1 6	*w*
r 3	*r*
w 3	?
r 3	?
w 6	*w*
g 6	*g*
r 6	*w*
g_1 6	*r*
w_1 1	*g*

Tabelle III.

Versuche an 3 Anomalen (Farbenschwachen).

Versuch 12 Vpn.: K. (rotanomal)		Versuch 15 Vpn.: S. (rotanomal)		Versuch 14 Vpn.: Dr. A. (grünanomal)	
gezeigt	genannt	gezeigt	genannt	gezeigt	genannt
w 2	w	r 3 r 4 w 3′	r? r? g	g 3	w
r 2	r	w 3 g 4 g 3	r w(g) w(g)	w 5′	w
r 3′	r	g 6 w 6′ r 3	g w r	r 3′	r
g 3	g	r 6 r 6 w 3	r r g	g 2	g
g 2′	g	r 5 r 3″ r 6	r g r	g 4′	g
w 1′	w	g 6 g 3″ g 6	g g g	g 6″	w
r 4″	r	w 2 r 3 w 6	? r w	r 6″	r
r 2″	(r?) g	w 4 r 6 w 6″	g r g	w 5″	r (w)
g 1′	g	w 2 w 6 w 6	? w w	g 3	r
r 2′	r	r 4 r 2′ r 6	r g r	g 3′	r
r 3′ w 3 r 3′	r w g	r 6 r 2′ r 6	r g r	w 3″	g
r 2 w 2 r 2	r(g) w g(r)	r 2	r ?	w 3′ r 4 r 5	g w w
r 2 w 1 r 2	r g r	g 6	g	w 3 w 5 w 6′	g g w
g 1′	g	g 5″	g ?	r 3 r 5′ r 6′	r r r
w 3″ r 3 r 3	g r g	r 2	r	r 3 w 5 r 6	r g r
r 3 w 3″ r 3	r g g	w 4′	(w, r ?)	r 6 w 6″ r 6	w g r
w 3 w 3″ w 3	w r w	w 2′	(w, g ?)	r 6 r 3″ r 6	r g r
g 3 r 3″ g 2	w r g	w 3	r		
r 6 w 3″ r 5	(w) r g r				
r 6 w 3 r 5	r w r				
w 3″ r 3 r 5	g r (g) r				
w 3″ r 3 r 5	g r (g) r				
w 6 r 6 g 6	g r g				
w 6	w				
w 6″	g				

niemals es aber mit Weifs oder mit Rot verwechselt. Das „Weifs“ nannten, wenn es hell war und das Feld nicht zu klein, alle unbedenklich Weifs oder Gelblichweifs. Bei verminderter Helligkeit oder Feldgröfse wurde dagegen bestimmter gesagt, dafs es kein reines Weifs, sondern ein gelbliches oder rötlichgelbes Weifs sei. In die Versuchung, dieses Licht mit dem roten zu verwechseln und „Rot“ zu nennen, kommt aber kein Normaler.

Zu den Protokollen von Dichromaten und Anomalen möchte ich noch folgendes Ergänzende bemerken.

Der Versuch 1, Tab. I, wurde an mir, als einer deuteranopischen (grünblinden) Versuchsperson, angestellt, ehe ich mir angesehen hatte, wie die farbigen Lichter an der soeben fertiggestellten Versuchsanordnung unter den gegebenen Bedingungen aussahen. Ich hatte also keine Anhaltspunkte für die Benennung der Signallichter, als den subjektiven Eindruck ihrer Farbigkeit. Rot glaubte ich mit einiger Sicherheit von den beiden übrigen Farben unterscheiden zu können, während ich Grün und Weifs nicht voneinander unterscheiden konnte, und sie einfach als „Nichtrot“ dem Rot gegenüberstellte. In dieser Tabelle sind alle Lichter, die ich nicht für rot hielt, mit *w* bezeichnet. In diese Versuchsreihe fielen 15 richtige, 25 falsche Antworten. Bei 12 von den falschen Antworten kam Rot ins Spiel, indem ich entweder ein wirkliches Rot weifs nannte, oder ein Grün oder Weifs rot.

Die Versuche 3, 4 und 17 der gleichen Tabelle sind angestellt, nachdem ich mich nach Möglichkeit bemüht hatte, die Unterscheidung zu lernen; da tatsächlich die 3 Lichtarten für mich als gleichfarbig, d. h. alle mehr oder weniger gelblich erschienen, mufste ich zur Unterscheidung sekundäre Kriterien zu Hilfe nehmen: ich lernte und merkte mir, dafs das „Grün“ am wenigsten gelb, fast weifs, war, das „Rot“ am tiefsten gelb, aufserdem rote Lichter im allgemeinen am schärfsten konturiert.

Man sieht deutlich die bedeutenden Fortschritte infolge der Übung; man erkennt auch gewisse Momente, die trotz meiner Einübung und vorsichtigsten Ratens mich doch immer noch zu kardinalen Fehlern kommen liefsen. Sowie die Lichter nicht ganz grofs und ganz hell waren, geschah sehr leicht die Verwechslung von allen dreien.

Versuch 17 gibt die günstigsten Resultate, die ich je erzielt

habe, es kommen „nur“ noch 7 falsche auf 37 richtige Antworten (ca. 16 % Fehler).

Durch blofses Raten (ohne hinzusehen) würde man, vorausgesetzt, dafs die einzelnen Farben in einer Versuchsreihe gleich oft vorkommen (was in Tab. I Versuch 17 fast genau erreicht ist), den Wahrscheinlichkeitsgesetzen zufolge 33 % Fehler machen. In den Versuchen 3 und 4, nach noch nicht sehr guter Einübung, erreicht der Prozentsatz 30 %, also um ein geringes weniger als der Fehler bei blofsem Raten.

Die späteren Versuche aber, für die Versuch 17 mit seinen 16 % Fehlern typisch ist, erreichen nicht mehr die Hälfte der Fehler beim Raten, ein Beweis dafür, dafs meine sekundären Hilfsmittel doch tatsächlich nützten.

Das ist theoretisch ganz interessant und auch für die Beurteilung der Wahrscheinlichkeit wichtig, die für Farbenirrtümer bei farbenblinden Bahnbeamten anzunehmen sind. Weit bedeutsamer aber ist die Tatsache, dafs trotz aller Einübung, bei einer Versuchsperson mit sehr guter Sehschärfe, und trotzdem die Beobachtungsdauer unbeschränkt war, immer noch 16 % Fehler blieben. Ich bezweifle nicht, dafs ein farbenblinder Lokomotivführer auf eine ähnliche Prozentzahl kommen würde; auch könnte bei sehr häufiger Anstellung solcher Versuchsreihen gelegentlich durch Zufall eine Reihe mit ein paar Prozent Fehler weniger vorkommen. Aber käme auch nur der zehnte, ja der hundertste Teil der Verwechslungen vor, so wäre das schon entscheidend für die Unmöglichkeit, Farbenblinde in einem Dienst zu belassen, in dem von ihrem Farbenunterscheidungsvermögen Menschenleben in grofser Zahl abhängen.

Ich habe gleichartige Versuche auch an einigen anderen Farbenblinden gemacht, teils Rot-, teils Grünblinden, ausschliefslich Leuten von rascher Auffassungsgabe und guter bis sehr guter Sehschärfe. Wie bei den später zu erwähnenden Anomalen sagte ich stets vor Beginn des ersten Versuchs, dafs es sich nur um die Farben Rot, Grün und „Weifs“ handle, von welch letzterem ich gleich bemerkte, dafs es nur ein sogenanntes Weifs sei, da es das einfache Licht einer elektrischen Glühlampe sei.

Alle farbenblinden Versuchspersonen sagten mir gleich bei den ersten Versuchen, die Aufgabe sei für sie unlösbar, alle Lichter sähen gleich aus, und zwar gelblich. Mit Lachen rieten sie dann auf mein Verlangen die Farben so gut sie konnten,

aber es war evident, dafs sie keine Ahnung von den wirklichen Farben hatten.

Nun zeigte ich ihnen auf grofsen Feldern (6 mm) die 3 Farben nebeneinander, benannte sie und gab ihnen die von mir erprobten sekundären Hilfsmittel zur Unterscheidung der 3 Farben an.

Die Tabelle II, Versuch 7 und 16, zeigen die kläglichen Resultate.

Verhalten der Anomalen.

Die Farbenuntüchtigkeit der Dichromaten nochmals in besondere Versuchsreihe zu verweisen, hätte nicht gelohnt, wenn ich nicht die Absicht gehabt hätte, anomale Trichromaten nach dem gleichen Verfahren zu prüfen, über deren Farbenuntüchtigkeit ja noch nicht überall genügende Klarheit besteht.

Tabelle III gibt die Protokolle von 3 Anomalen; es sind nur diejenigen Versuche wiedergegeben, denen schon Mitteilung über das ausschliefsliche Vorkommen der Farben Rot, Grün, Weifs vorausgegangen war.

Ich hatte vermutet, die Fehler bei isoliert gezeigten Einzellichtern würden bei Anomalen nicht erheblich sein, höchstens bei s e h r lichtschwachen Signalen und kurzer Exposition (also Bedingungen, wie sie in dieser Reihe grundsätzlich vermieden wurden) sich zeigen. Die Zahl der Fehler überraschte mich daher.

Bei der Beurteilung der Tabelle ist zu berücksichtigen, dafs erstens die ersten (die meisten Fehler enthaltenden) Antworten weggelassen sind und dafs zweitens da, wo in der Tabelle eine richtige Antwort steht, doch sehr häufig die Art, wie die Antwort erfolgte, unverkennbar die Minderwertigkeit des Farbensinns zum Ausdruck brachte. Wenn beispielsweise die Versuchsperson ein leuchtend rotes Feld sehr zögernd und mit deutlichem Unsicherheitsgefühl als „rötlich" bezeichnete, so ist in der Tabelle doch die Antwort „*r*" d. h. rot notiert.

Noch wichtiger ist folgendes für die Anomalen ganz typische Verhalten: Zeigt man mehrere Lichter gleichzeitig, so schwanken die Angaben des Anomalen in kurzer Zeit. Ein rotes Licht erklärt er im ersten Moment vielleicht für rot, um sich gleich darauf zu korrigieren und zu sagen, es sei doch grün; so kann es mehrmals wechseln, wahrscheinlich im Zusammenhang mit

absichtlichen oder unabsichtlichen Blickschwankungen. Ähnliches beobachtet man weder beim Normalen noch beim Farbenblinden.

Wenn man zwei oder drei Lichter gleichzeitig sichtbar macht, kommen die Erscheinungen des abnormen Simultankontrastes bei dieser Untersuchungsmethode so deutlich wie möglich zur Beobachtung. Neben einem oder zwei hellen roten Lichtern erscheint für den Anomalen ein weifses, ja selbst ein kleineres oder dunkleres Rot als Grün. Nicht ganz so bestimmt erfolgt die Bezeichnung „Rot“ für ein Weifs oder lichtschwaches Grün, das neben hellem Grün steht.

Nehmen wir aus den mitgeteilten Protokollen von Anomalen nur die 30 Versuche heraus, in denen je 3 Lichter nebeneinander gezeigt wurden, so finden wir von den 90 Lichtern 37 falsch benannt. Die Farbenzusammenstellungen waren allerdings von mir auch so gewählt, dafs das Auftreten von Kontrast und dadurch bedingte Fehler begünstigt werden mufsten.

Im Falle des Versuchs 14 sind die Fehler auch bei isolierten Lichtern zahlreich, weit zahlreicher als die meisten Fälle von Grünanomalie sie ergeben würden. Es ist ein extremer Fall, der sehr nahe an Grünblindheit grenzt, aber noch trichromatisch ist. Bei anderen Grünanomalen findet man oft bei 20 bis 30 nacheinander gezeigten Einzellichtern selten Fehler, so lange man nur die geringere Lichtstärke vermeidet.

Die relativ häufigste Verwechslung ist noch die von grün und weifs. Sowie aber mehrere Lichter im Gesichtsfeld sind, machen auch die bestgestellten unter den Anomalen sofort ihre typischen Fehler.

Von Interesse war mir eine Angabe eines Rotanomalen, dem ich nach beendigtem Versuch die Lichter nochmals unter Namensnennung vorführte und der mir dabei sagte, das durch den Kontrast gegen Rot vorgetäuschte „Grün“ scheine ihm ein viel kräftigeres, reineres Grün, als das offiziell als Grün bezeichnete Licht. Dieses schien ihm stark weifslich.

Indem ich mir eine allgemeine Erörterung der hier mitgeteilten Resultate und ihrer Bedeutung für die Diensttauglichkeit farbenblinder und farbenschwacher Personen bei Eisenbahn und Marine auf später, nach Mitteilung der unter anderen Bedingungen angestellten Versuche vorbehalte, möchte ich für jetzt nur nochmals hervorheben, dafs die Versuchsbedingungen, die bei den oben beschriebenen Versuchsreihen eingehalten wurden,

die Leistungsfähigkeit der Farbenblinden und Anomalen noch in einem entschieden zu günstigen Licht erscheinen lassen, obgleich die Zahl der gemachten Fehler wahrlich schon verblüffend grofs ist.

Die Versuche zeigen zugleich, dafs es sehr wohl möglich ist, mit mehreren Eisenbahnsignallichtern die Farbenuntüchtigkeit dieser Personen in einer sehr krassen Weise zu demonstrieren, sobald man nur berücksichtigt, dafs nicht die Verwechslung Rot—Grün die einzig in Betracht kommende ist, sondern dafs die Unterscheidung Rot—Grün—Gelb (sog. Weifs) sehr wesentlich mitspielt, ferner dafs die Lichter in praxi unter wechselndem Gesichtswinkel und in wechselnder Helligkeit (und Sättigung) gesehen werden und diesem Umstande bei der Prüfung Rechnung zu tragen ist, und dafs endlich die gegenseitige Beeinflussung mehrerer gleichzeitig sichtbarer Lichter nicht aufser acht gelassen werden darf.

(Eingegangen am 27. Januar 1907.)

Namenregister.

Druck von Lippert & Co. (G. Pätz'sche Buchdr.), Naumburg a/S.

Zeitschrift
für
Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane

herausgegeben von
Herm. Ebbinghaus und **W. A. Nagel.**

II. Abteilung.

Zeitschrift für Sinnesphysiologie.

In Gemeinschaft mit

S. Exner, J. v. Kries, Th. Lipps, A. Meinong, G. E. Müller, C. Stumpf, A. Tschermak, W. Uhthoff, Th. Ziehen, H. Zwaardemaker

herausgegeben von

W. A. Nagel.



Leipzig, 1907.
Verlag von Johann Ambrosius Barth.
Roßplatz 17.

Jährlich erscheinen 1—2 Bände, jeder zu 6 Heften. Preis des Bandes 15 Mark. Durch alle Buchhandlungen sowie direkt von der Verlagsbuchhandlung zu beziehen.

(Ausgegeben am 1. März 1907.)

Inhalt.

Seite

Adresse der Redaktion:

Professor Dr. W. A. Nagel, Berlin NW. 7, Dorotheenstr. 35.

Lippert & Co. (G. Pätz'sche Buchdr.), Naumburg a. S.





